A. MIGDAL

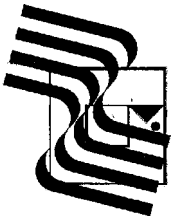
DE LA ÎNDOIALĂ LA CERTITUDINE

A. MIGDAL

DE LA ÎNDOIALĂ LA

CERTITUDINE

Prefaţă şi traducere din limba rusă: GHEORGHE STRATAN



EDITURA POLITICĂ 1989

Bucureşti

Redactor: MARIA ALEXE Coperta: IOAN MIHĂESCU

ISBN 973-28-0000-3

A. MIGDAL

„POISKI ISTINÎ”
Molodaia Gvardia, Moskva – 1983

Prefaţă în timpul călătoriei în Purgatoriu, Dante se adresează astfel călăuzei sale, Virgiliu:

„Căci ai făcut ca cei ce duc făclie şi dibuind în noapte pe cărare, le-arată calea celor ce-au să vie”.

Tradiţia medievală îi atribuie lui Virgiliu o profeţie d, e care acesta era, de fapt, străin[1], dar şi rolul de luminător al drumului *altora*. Rolul pe care şi-l asumă în această carte fizicianul sovietic Arkadii Benediktovici Migdal, de

1 Dante, Purgatoriul, traducere de Eta Boeriu, comentarii de Alexandru Baiaci, BPT, 1982; este vorba despre pretinsa prevestire de către Virgiliu a creştinismului.

călăuză pe drumul de la îndoială la certitudine în ştiinţă, este opuş ca substanţă exemplului dantesc. Călăuza noastră «cunoaşte bine itinerarul de-a lungul căruia încearcă să ne facă părtaşi la confruntarea dintre eroare şi adevăr, dintre ştiinţă şi pseudoştiinţă, împărtăşindu-ne din experienţa şi căutările proprii din domeniul fizicii nucleare, ca şi din creaţia sa artistică. Autorul cărţii de faţă, membru al Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S., este fondatorul unei direcţii de cercetare recunoscute de teoreticieni şi profesorul mai multor generaţii de fizicieni ajunşi la rândul lor academicieni şi profesori. Traduse în mai multe limbi, cărţile sale de specialitate servesc drept lucrări de referinţă. Dintre acestea, monografiile *Nuclear Theory*: *The Quasiparticle Method*, New York, Benjamin, 1968 şi *The Theory of Finite Fermi Systems*, New York, Interscience, 1967, sunt bine cunoscute în mai toate laboratoarele de fizică nucleară, fiind consacrate unuia dintre subiectele cele mai dificile ale fizicii moderne: teoria mai multor corpuri, aplicabilă unor probleme complicate, cum ar fi structura corpului solid, structura nucleului atomic sau a materiei din care sunt alcătuite stelele.

Fizicienii români au avut prilejul să-l cunoască pe autor la cursurile internaţionale de fizică organizate anual la Poiana Braşov, unde lecţiile pe care le-a ţinut şi comentariile făcute pe marginea lucrărilor au stâinit interes. Secretul tinereţii sale – în cel de-al optulea deceniu de viaţă – îl constituie, probabil, îmbinarea profesiei de om de ştiinţă cu pasiunea pentru sculptura în lemn şi piatră şi cu activitatea sportivă.

Îl caracterizează impetuozitatea stilului şi, deseori, spiritul polemic. Aceste tiăfături sunt prezente şi în activitatea ştiinţifică a reputatului savant, lucrările sale conţinând ipoteze şi idei îndrăzneţe, menite să atragă atenţia asupra problemelor nodale, stimulând cercetările experimentale şi determinând astfel direcţii de concentrare a efortului ştiinţific creator. A. Migdal distinge între ştiinţa „cuminte” care „merge la sigur” şi cercetarea ce presupune un factor de risc asumat în mod conştient, riscul de a greşi.

Dacă, aşa după cum spune proverbul, eroarea este omenească, este ea şi inevitabilă? Perspectiva istorică ne ajută să înţelegem mai uşor dinamica trecerii de la eroare la adevăr într-un domeniu sau altul al ştiinţei. Ce este, de exemplu, electricitatea? „Un fluid unic, imponderabil, acţionând prin repulsie asupra moleculelor proprii şi prin atracţie asupra celor ale materiei”, cum susţinea Benjamin Franklin, sau „: „două feluri de fluide electrice – fluidul

sticlos şi fluidul răşinos – care, în cantitate egală, dau fluidul neutru”, cum susţinea Robert Symmer[2]?

Cititorul de astăzi, cunoscător al teoriei electronice a electricităţii, decelează cu uşurinţă adevărurile şi erorile din ambele definiţii, dintre care s-a impus, cu aproape două secole în urmă, aceea a lui Franklin, structurând în jurul ei, pentru un timp îndelungat, prima teorie închegată a fenomenelor electrice.

Mult mai complicată - însă cu atât mai necesară – apare cerinţa decelării adevărului în condiţiile dezvoltării actuale a ştiinţei. A. Migdal susţine în mod evident că erorile sunt inevitabile, întrucât, dintr-o mulţime de idei şi de soluţii, foarte puţine se dovedesc în cele din urmă corecte. Cele mai multe erori se corectează însă din mers, ipotezele greşite sunt înlăturate şi căutările continuă. Autorul cărţii de faţă descrie sitele de cernere a ipotezelor, prin care se testează corectitudinea şi viabilitatea acestora. Deşi este vorba despre ştiinţă, nu lipsesc nici criteriile estetice de apreciere a lucrărilor, frumosul jucând un rol important şi în aceste creaţii ale intelectului uman.

Fiecare ştiinţă îşi are noţiunile sale, metodele sale specifice („arsenalul” său), rodul evoluţiei şi al acumulărilor istorice; toate ştiinţele au însă în comun ceea ce se numeşte *metoda ştiinţifica de abordare a cercetării*, căreia îi este dedicată o însemnată parte a cărţii lui A. Migdal. Deşi concepţia despre metodă se schimbă o dată cu ştiinţa însăşi, se conturează o serie de principii cu caracter permanent, proprii oricărei metode ştiinţifice. Toate ştiinţele se bazează pe o serie de fapte, „evidenţe” (sau date experimentale) pe care trebuie să le explice şi cu care se confruntă diversele teorii. Datele experimentale se află într-o serie de relaţii, care sunt interpretate în cadrul anumitor modele, ca un prim pas către elaborarea de teorii cuprinzătoare. Nu toate faptele sunt la fel de relevante pentru o teorie sau alta, unele fapte au trebuit chiar să fie neglijate în anumite etape ale dezvoltării ştiinţei; niciodată însă nu se „întrece măsura”, nu se ignoră ansamblul general al datelor. Confuzia apare atunci când se încalcă ierarhia date-relaţii-modele[3], acest fapt constituind o gravă abatere de la metoda ştiinţifică.

Amestecul noţiunilor provenite din cele trei trepte diferite ale ierarhiei

---

2 După A. Ganot, Traité élémentaire de Physique expérimentale et appliquée, ed. a XIV-a, Paris, 1870, p. 616.

3 Pentru o expunere mai amănunţită a metodei ştiinţifice vezi: Thomas S. Kuhn, Structura revoluţiilor ştiinţifice, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, 1976, secţiunea a II-*.

de mai sus are ca rezultat transformarea adevărului în minciună şi a ştiinţei – în pseudoştiinţă. Erorile sunt sesizate uneori mai târziu, când, pornind de la ele, s-a ridicat un adevărat eşafodaj ale cărui concluzii sunt confruntate cu realitatea. Descoperirea erorilor înseamnă în acest caz prăbuşirea întregului edificiu în care s-au investit multă muncă, mijloace materiale şi nu rareori speranţe. Ca şi în cazul unei construcţii şubrede, se impune refacerea din temelie, lucru nelipsit de dificultăţi Dar nici comunitatea oamenilor de ştiinţă, nici societatea nu acceptă totdeauna cu uşurinţă să-şi asume eşecul, deşi o cercetare încheiată cu o concluzie negativă, de tipul „în condiţiile date, fenomenul căutat nu se produce” are valoarea ei gnoseologică. Concurenţa, rivalitatea dintre grupuri, goana după descoperiri ştiinţifice, dorinţa fierbinte de a demonstra sau de a infirma o teză, o idee, conţin în germen falsificarea faptelor şi pot genera concluzii pripite. Autorul remarcă pe bună dreptate faptul că descoperirea ştiinţifică constituie rezultatul secundar al unei cercetări susţinute, animată numai de pasiunea pentru adevăr, de curiozitatea ştiinţifică nepartizană şi care are drept scop să afle cum este constituită natura.

Nu orice eroare se confundă însă cu pseudoştiinţa. P. L. Kapiţa, laureat al premiului Nobel pentru fizică, afirmă că „pseudoştiinţa constă de fapt în nerecunoaşterea greşelilor”[4]. Persistenţa în eroare şi ignorarea realităţii, construirea premeditată a unui sistem de false dovezi şi încercarea de a le impune cu argumente din afara ştiinţei, mizând pe lipsa de cunoştinţe a publicului în acel domeniu şi înşelând astfel buna-credinţă a societăţii, iată, am adăuga noi, etapele, mai mult sau mai puţin obligatorii, ale drumului de la eroare la pseudoştiinţă.

Este instructiv de urmărit un exemplu în acest sens: istoria aşa-numitei „ape vii”, care a debutat cu circa trei decenii în urmă, ca o cercetare consacrată unei presupuse structuri polimerice a apei, ipoteză greşită din start, din cauza unor mici impurităţi prezente în probele de apă. Primele lucrări, datorate lui B.V. Dereaghin, au avut un ecou foarte larg. J.D. Bernal, laureat al premiului Nobel pentru chimie, susţinea că evidenţierea structurii polimerice a apei reprezintă descoperirea secolului al XX-lea. Şi alte laboratoare au preluat cercetările, dar rezultatele au iscat controverse. O parte din studii au fost chiar trecute la secret, pe motive, de posibile implicaţii

4 P.L. Kapiţa, Experiment, teorie, practică, Editura Politică, 1981, p. 42.

strategice. În 1973, Dereaghin şi-a recunoscut greşeala6, relatată şi într-o revistă de mare circulaţie, sub titlul „Istoria unui artefact”[5]. Mai târziu a apărut şi o carte, cu un titlu ironic[6], recenzată sugestiv în articolul „Cum să nu împroşti în ştiinţă”[7]. Dacă în ştiinţa internaţională carier ea „apei anomale” se încheia în acest fel, nu se întâmpla acelaşi lucru peste tot; parcă în pofida dezvăluirilor5’8 revista *„Ştiinţa şi tehnică”* nr. 8/1981 publica un interviu consacrat aşa-zisei descoperiri a trei componente ale apei, denumite respectiv „apă biologică, antagonică şi neutrală” şi brevetarea procedeului de „separare a unor structuri polimoleculare de apă biologic activă”. Aceasta din urmă, dacă ar fi fost să dăm crezare autorilor, ar fi avut proprietăţi fizice uimitoare („pulsând în volum ca o inimă”, fierbând la peste 100 grade C, etc.), vindecând răni şi înnele boli, printre care şi cancerul. „Structura biologică” a apei ar fi prefigurat viaţa, polimerul apei având chipurile o formă de spirală. (Spirala, ca şi alte idei „noi” pot fi găsite încă în articolul citat din *La Recherche*.)

Identificăm în această istorie, pas cu pas, toate simptomele trecerii de la eroare la pseudoştiinţă descrise de A. Migdal, dintre care cel mai frapant este încercarea de a rezolva dintr-o lovitură aproape toate marile probleme, de la originea vieţii şi până la vindecarea flagelurilor. Ne putem însă consola, odată cu autorul cărţii de faţă: pseudoştiinţele, mai ales în epoca actuală, au viaţă scurtă. Într-adevăr, cine mai vorbeşte astăzi de „apa vie”? Ieşită, ca denumire, din folclor, ea a intrat în folclorul ştiinţei, trecând, după o anumită vâlvă (şi după speranţe repede dezamăgite în rindurile celor suferinzi), într-o meritată uitare. Este interesant de remarcat că, în aceeaşi perioadă, în laboratoarele ICEFIZ se desfăşurau cercetări teoretice şi experimentale sistematice consacrate stării lichide (inclusiv a apei) cu rezultate validate prin publicarea lor în presa ştiinţifică naţională şi internaţională şi prin rezistenţa la proba timpului.

Cea mai importantă concluzie care se poate trage din istoriile de felul „apei vii”, cazuri de regulă izolate şi puţine la număr, este necesitatea atitudinii prudente şi chiar sceptice, atât din partea oamenilor de ştiinţă, cât şi a publicului larg, întrucât”...acceptarea fără critică a unei teorii nu favorizează progresul cunoaşterii şi este un pericol pentru ştiinţă” 9.

5« La Recherche, 44 (1974).
6 Felix Francks, Poly water, M.I.T. Press, 1981.
7 Robert Ubell, How not to make a splash in science, Nature, 5 noiembrie 1981.

În acest sens pledează nu numai A.Migdal, ci şi mulţi alţi autori[8]. A. Migdal îşi avertizează însă cititorii să nu absolutizeze atitudinea critică, deoarece exacerbarea ei în faza iniţială a actului creator poate inhiba apariţia ideilor originale, neaşteptate, care sunt deseori purtătoarele germenului soluţiei problemelor dificile. Tineretul, îndeosebi, este îndemnat să se vindece de teama de a nu greşi. În situaţii mai grele, autorul indică drept procedeu de lucru „dezlănţuirea fanteziei”, actul de analiză critică, obligatoriu în ştiinţă, ca de altfel în toate domeniile de activitate, trebuind amânat până la o fază mai elaborată a ipotezelor.

Una dintre ideile generoase ale cărţii academicianului sovietic este necesitatea răspândirii cunoştinţelor despre metodele de lucru ale oamenilor de ştiinţă, concomitent cu popularizarea ştiinţei propriu-zise. Prima parte a cărţii ilustrează tocmai metoda ştiinţifică de cunoaştere, descriind lungul şi complicatul drum de la îndoială la certitudine, în timp ce partea a doua a cărţii prezintă la un nivel accesibil publicului larg câteva dintre rezultatele ştiinţifice obţinute de autor pe parcursul mai multor decenii de activitate.

În concepţia autorului, popularizarea trebuie sa-l determine pe cititor să intre în rolul omului de ştiinţă, să-i refacă raţionamentele, să-i urmărească toate căutările, fructuoase sau sterile, obţinând astfel o viziune dinăuntrul procesului creator, o imagine de participant şi nu de spectator. Prin această prismă, lectura celor două părţi ale cărţii alcătuieşte un tot unitar.

Cititorul va fi fără îndoială interesat să descopere conexiunea neaşteptată dintre proprietăţile vidului, ale nucleului atomic şi ale stelelor, aceste entităţi fizice, extrem de diferite în aparenţă, fiind guvernate de aceleaşi legi. Studiul vidului, întreprins pentru prima dată de mecanica cuantică, a relevat o entitate foarte complexă, depărtată nu numai de imaginea „absenţei materiei”, din gravurile cu emisferele de Magdeburg de prin manualele vechi, ci chiar de eterul sfârşitului de secol al XIX-lea. Vidul este sediul unor fenoméne care stau la baza întregii fizici a interacţiunilor fundamentale din natură; înţelegerea, fie şi parţială, a acestei noţiuni a împins înainte cunoaşterea Universului, de la particulele elementare şi până la stele.

Evoluţia materiei din Univers trece şi prin stadiul „prelucrării „sale în stele, adevărate „furnale” în care, din materia primordială (hidrogen şi heliu)

8. 10 Vezi, de exemplu, Carl Sagan, Broca's Brain. Reflections on the Romance of Science, Random House, New York.

se elaborează şarje de elemente inexistente anterior. Elementele astfel fabricate sunt răspândite prin explozii în spaţiul interstelar, făcând posibilă apariţia unor compuşi şi iniţiind procese care, în cele din urmă, 'duc la apariţia vieţii. Explicarea evoluţiei stelare, inclu? siv a exploziilor care marchează unele etape din soarta acestor aştri, capătă aşadar o importanţă deosebită pentru înţelegerea lumii înconjurătoare. Autorul propune o teorie a acestei evoluţii, bazată pe aşa-numita „restructurare a vidului" fenomen descris aici în diverse situaţii (la diferite energii, îrx prezenţa unor câmpuri externe etc.). Cititorul pătrunde astfel într-unul dintre cele mai interesante capitole de astrofizică, impus încă o dată atenţiei publicului la începutul anului 1987 de observarea optică directă a exploziei unei supernove (denumită cu speranţă 1987A), eveniment analizat cu înfrigurare; datele culese pot oferi posibilitatea verificării teoriilor privind supernovele, inclusiv a teoriei lui Migdal. Întâmplarea face ca explozia lui 1987A să fi fost înregistrată şi de câteva instalaţii experimentale destinate complet altui scop şi anume detectării neutrinilor proveniţi din ciclul de reacţii nucleare din Soare, fapt care lărgeşte baza datelor cu care sunt confruntate teoriile. Ca o lovitură de teatru, atunci când cerul se calmase şi când totul părea cunoscut, fotografiile zonei au arătat existenţa a două centre de la care s-ar fi putut propaga explozia, constatare fără explicaţie în lumina teoriilor actuale[9]. Hotărât lucru, realitatea lumii în care trăim desfide orice poate să-şi închipuie mintea omenească!

La acestea toate, ne putem consola pe noi înşine, ca şi pe teoreticienii care înfruntă dificultăţile, cu cuvintele lui Goethe: „Prietene, teoria-i cenuşie, numai pomul vieţii este veşnic verde", sau, cu aforismul unui confrate rus al marelui poet german, nu atât de celebru, dar nu mai puţin ironic, Kozma Prutkov, citat şi de A. Migdal: „Nu poţi'cuprinde necuprinsul". Şi totuşi, merită încercat.

Acest îndemn explicit la îndrăzneala ştiinţifică este adresat de autor cititorilor indiferent de vârsta şi de profesia lor, fapt lesne de înţeles deoarece ştiinţa joacă astăzi un rol formativ în viaţa tuturor, alcătuind – nu *alături* de umanism, ci *împreuna* cu umanismul – profilul cultural al omului contemporan.

Aflâtă în faţa cerinţelor dezvoltării sale multilaterale, ţara noastră este

9 Scientific American, iulie 1987.

interesată să promoveze în mod rapid domeniile ştiinţifice de cea mai mare perspectivă, să integreze cât mai deplin cunoaşterea ştiinţifică în contextul social-eco * nomic şi cultural, imperative care se pot realiza – aşa cum subliniază constant documentele de partid şi de stat – numai prin cultivarea originalităţii şi curajului în gândire, prin educarea tineretului în spiritul concepţiei mai criali st-ştiinţif ice despre lume.

Gheorghe Strotan adevărul este mai poetic. Decât orice pe lume, mai ales în starea lui pură; este chiar mai fantastic decât orice ar putea să născocească sau să-şi închipuie mintea omenească

F. Dostoïevski

Dacă te decizi să mergi până la capăt pe drumul chinuitor al îndoielilor, al verificărilor nenumărate, al greşelilor urmate de clarificări neaşteptate, în cele din urmă, pe înălţimea cucerită, apare ca o răsplată adevărul, de o sută de ori mai frumos decât cea mai frumoasă intuiţie…

Acest drum se numeşte metoda ştiinţifică de cunoaştere. Pentru a nu te abate de la el, nu ajunge să-ţi alegi direcţia corectă, să stăpâneşti secretele meseriei şi să mânuieşti instrumentele cunoaşterii, elaborate şi perfecţionate prin eforturile multor generaţii, ci mai trebuie să îţi cultivi ca trăsături de caracter răbdarea, conştiinciozitatea şi capacitatea de a te uimi. Mai trebuie să ştii când să te conformezi sau nu intuiţiei, când să ai încredere în rezultatul propriu, dar, concomitent, să cauţi şi dovezile contrare acestuia; trebuie să posezi capacitatea de a da frâu liber, dar şi de a frâna fantezia, de a recunoaşte şi a îndrepta greşeala… Este important să înveţi să preţuieşti frumuseţea naturii şi frumuseţea construcţiilor logice.

Vreau sa priviţi drumul spre adevăr nu dinafară, ci dinăuntru, mergând în pas cu ghidul. S-ar putea să nu vă duc întotdeauna pe calea cea mai simplă, dar aceasta nu înseamnă că îi iau în călătorie numai pe cei aleşi. Îi invit să meargă cu mine pe toţi cei care sunt dispuşi să facă un efort. „Farmecul ştiinţei poate învinge aversiunea faţă de efortul intelectual” –, spunea matematicianul francez Gaspard Monge.

Să nu vă impacientaţi dacă nu înţelegeţi totul, întrucât noţiunea de „înţelegere” are toate nuanţele, de la claritatea la care nici autorul nu ajunge întotdeauna, până la perceperea vagă. Dar până şi aceasta din urmă, treptat,

pe căi necunoscute, duce la o înţelegere mai profundăla o primă citire” nu ezitaţi să treceţi peste argumentele mai complicate. Dacă nu sunteţi familiarizaţi cu matematica, puteţi omite din lectură cele câteva formule simple la care am recurs spre ilustrarea unor exemple. Procedând astfel, veţi pierde multr dar nu esenţialul.

Totuşi, oricât ai simplifica expunerea, lucrurile complicate rămân complicate. Frumuseţea ştiinţei nu se poate pune în evidenţă prin exemple simple. Se povesteşte că Aristotel i-ar fi spus învăţăcelului său, Alexandru Macedon, că „în matematică nu există drum presărat cu flori!” M-am străduit să elimin dificultăţile neesenţiale, dar cele rămase reflectă fondul problemelor – doar nu-i aşa, avem de urmărit împreună modul în care au apărut şi s-au dezvoltat cele mai complicate edificii ale fizicii contemporane – teoria relativităţii, teoria cuantică şi fizica particulelor elementare.

Veţi putea aprecia gradul de dificultate al expunerii, privind la desenul de la începutul fiecărei secţiuni.

Iată aceste desene.

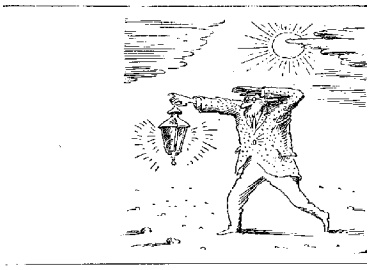
Acum mă adresez cititorilor avizaţi, în această carte multe pasaje ar fi fost mai fireşti şi mai exacte dacă m-aş fi folosit de numerele complexe. Nu mi-a fost la îndemână să scriu „pătratul funcţiei de undă” în loc de „modulul pătrat al funcţiei de undă”... Am vorbit despre proprietăţile ecuaţiilor lui Maxwell, Schrödinger, Young Mills, fără să le scriu măcar o dată. M-am limitat la calculele cele mai simple, tocmai ca să rxu-i descurajez pe cititorii nefamiliarizaţi cu fizica şi matematica.

A trebuit să abordez şi domenii ce nu au contingenţă cu profesia înea. La unele obiecţii, voi spune şi eu ca Niels Bohr: „Raţionamentul meu nu trebuie interpretat ca afirmaţie, ci ca întrebare”. Întrucât sunt fizician teoretician, cartea de faţă s-ar fi putut numi foarte bine „căutarea adevărului în fizică”. M-am străduit totuşi să ies din cadrul profesiei.

De-a lungul vieţii, am scris câteva monografii ştiinţifice. Ştiam despre *ce* să scriu, dar m-a preocupat prea puţin *cum* scriu. De această dată însă,

ambele lucruri s-au dovedit dificile. Nu m-aş fi încumetat să mă îndepărtez de ştiinţă pentru a scrie o carte de popularizai e, fără ajutorul şi bunăvoinţa prietenilor mei L.B. Okun, A.A. Migdal şi E.V. Netiosova. Le exprim cea mai adâncă recunoştinţă.

Nu ştiu dacă mi-a reuşit proiectul. Pasternak spunea: „... nu tu însuţi trebuie să iaci deosebirea între. Înfrângere şi victorie”...



METODA ŞTIINŢIFICĂ DE CUNOAŞTERE

Oricât ar părea de ciudat, obstacolul principal care stă în calea comunicării oamenilor de ştiinţă cu cei care nu au contingenţă cu ştiinţa nu este terminologia şi nici complexitatea noţiunilor, ci aprecierea diferită a veridicităţii faptelor şi înţelegerea diferită a sarcinilor şi metodelor ştiinţei. Din acest motiv, trebuie să începem discuţia noastră despre ştiinţă nu cu nişte rezultate ştiinţifice concrete, ci cu expunerea metodei ştiinţifice care s-a născut în secolul al XVII-lea şi care continuă să se dezvolte o dată cu ştiinţa însăşi.

Vqm urmări pe baza mai multor exemple ce eforturi uriaşe trebuie depuse pentru ca o vagă intuiţie să se transa forme într-un adevăr ştiinţific, care sunt criteriile ştiinţifice care permit deosebirea adevărului de neadevăr, de care mes tode şi reguli se foloseşte ştiinţa în drumul ei spre cunoaştere şi, în sfârşit, în ce mod apar erorile şi din ce cauză acestea capătă uneori o formă stabilă, denumită pseudoştiinţă.

De la intuitie la adevăr

E timpul s-arătăm ce-i adevărul şi care e minciuna,
Şi dacă nu ne credeţi nicio iotă, Să dăm pe faţă cărţile până la una.
J.B. Molière

Cum se transformă intuiţia într-un adevăr ştiinţific ferm stabilit? În ce constă diferenţa dintre aprecierea ştiinţifică a veridicităţii faptelor şi aprecierea obişnuită? Care este specificul metodei ştiinţifice de abordare a fenomenelor naturii? Pentru a răspunde la aceste întrebări, trebuie să înţelegem mai înainte de toate ce anume îi împiedică pe oamenii care nu au contingenţe cu ştiinţa să comunice cu reprezentanţii ştiinţelor exacte.

„*Cum să te-nteleagă celălalt*?" (F. Tiutcev)

„Se ştie că alela recesivă influenţează fenotipul numai dacă genotipul este homozigot".

„Fiecare punct de acumulare al filtrului Cauchy este o limită a acestui'filtru".

„Instantonul este o trecere pe sub barieră între vidurile cu sarcini topologice diferite".

Nu se înţelege? Prima frază se referă la genetică şi defineşte diferenţa dintre caracterele ereditare condiţionate şi necondiţionate. A doua afirmaţie este din domeniul topologiei (o ramură a matematicii). A treia e din teoria cuantică a câmpului.

Am vrut să arăt cu ajutorul acestor exemple cât de greu este să vorbeşti despre ştiinţă cu un nespecialist; dar dificultăţi şi mai mari ridică nu atât terminologia, cât noţiunile neobişnuite.

Nu înseamnă oare aceasta că există anumite domenii ale ştiinţei despre care este imposibil să-i vorbeşti „muritorului de rând"? Mi se pare totuşi că până şi cea mai complicată teorie poate fi explicată oricui, cu condiţia ca pentru aceasta să se depună eforturi la fel de mari ca pentru ştiinţa propriuzisă. Înlăturând lucrurile neesenţiale, se poate clarifica fondul problemei şi se poate alcătui o imagine a fenomenului. Punerea în evidenţă a esenţei este folositoare ştiinţei înseşi, întrucât duce totdeauna la o înţelegere mai clară. Gândirea profundă are de câştigat de pe urma simplităţii. În ştiinţă, ca şi în artă, simplitatea necesită însă eforturi. Adevărata simplitate o dă numai un maestru.

Se poate alege însă o cale mai uşoară de popularizare, deseori folosită, şi anume nu discuţia despre ştiinţa propriuzisă, ci despre aplicaţiile ei. De exemplu, se poate vorbi despre aparatele de zbor, la fel de minunate în

alcătuirea lor ca o pasăre.

Un prieten, fizician din Gruzia, mi-a explicat cum se ţin toasturile atunci când la masă se află cincizeci de persoane pe care tamada[10] nu le cunoaşte de loc. Trebuie să vorbeşti nu despre om, ci despre ceea ce este legat de el.

La fel se poate vorbi şi despre ştiinţă.

Dar un ţel mult mai dificil şi mai nobil este să descrii frumuseţile ştiinţei, armonia şi frumuseţea lumii înconjurătoare, aşa cum le dezvăluie ştiinţa, să creezi un „tablou fizic' al fenomenelor, şi să simplifici rezultatele ştiinţifice, păstrându-le sensul. Pentru toate acestea este nevoie de o muncă ştiinţifică susţinută, pe care o pot efectua numai oamenii de ştiinţă.

Popularizarea ştiinţei – chiar dacă reprezintă o problemă dificilă, este rezolvabilă, dar nu ea constituie obstacolul principal în calea înţelegerii reciproce. Cele mai mari dificultăţi se întâmpină, oricât ar părea de straniu, nu atunci când se descrie esenţa fenomenelor, ci atunci când se încearcă să se explice semnificaţia metodei ştiinţifice de abordare a fenomenelor naturii.

Abordarea ştiinţifică începe prin delimitarea graniţelor domeniului în care se înscriu cuceririle neîndoielnice ale ştiinţei, şi prin stabilirea graniţelor imposibilului, adică ale reprezentărilor care contrazic experienţa ştiinţifică îndelungată.

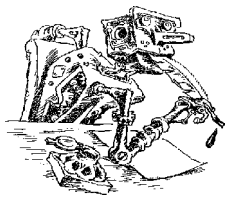
Între cele două graniţe se află domeniul fenomenelor nestudiate, dar posibile. De exemplu, se poate spune cu siguranţă că niciun fel de dezvoltare ulterioară a ştiinţei nu ne va deters mina să ne îndoim că Pământul e rotund, sau să credem în existenţa unui perpetuum mobile, adică în posibilitatea unei încălcări grosolane a legii conservării energiei.

Deosebirile dintre abordarea ştiinţifică şi abordarea obişnuită a fenomenelor apar pregnant la determinarea limir telor dintre verosimil şi imposibil.

Multe dintre lucrurile care, până nu demult, păreau minuni, astăzi au devenit realităţi. Nu este oare uimitor să stai acasă

---

10 Un fel de conducător al festivităţii, care ţine toasturile în cinstea oaspeţilor la mesele sărbătoreşti ale unor popoare din Caucaz şi din Asia Centrală. — Nota trad.



şi să vezi şi să auzi ceea ce se întâmplă la mii de kilometri? Nu e minunat că omul a reuşit să vadă planeta noastră din spaţiul cosmic? Se putea prevedea oare acum treizeci sau patruzeci de ani construirea unor calculatoare de birou sau de buzunar, care joacă şah, traduc, fac poezii, compun muzică, şi – lucrul cel mai important – efectuează în câteva minute calcule pentru care ar fi trebuit să se înhame la lucru o întreagă generaţie?

Să ne mirăm deci că în mintea multor oameni nefamiliarizaţi cu ştiinţa graniţele se şterg şi totul devine posibil?

În mod firesc, apar şi întrebări: „Dar ştiinţa însăşi ştie unde se află aceste graniţe? N-ar putea izbucni la un moment dat o revoluţie care să ne răstoarne toate reprezentările?

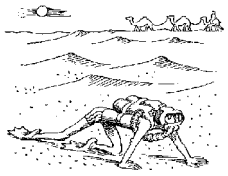
Istoria şi logica dezvoltării ştiinţei atestă că o asemenea răsturnare este imposibilă.

Nici ideile uimitoare ale teoriei relativităţii n-au reprezentat o cotitură categorică, ci au apărut ca urmare a dezvoltării ştiinţei şi s-au sprijinit pe fundamentul solid al cuceririlor trecutului. Aceste idei se refereau la un cerc de probleme relativ restrâns şi practic n-au modificat legile stabilite anterior pentru mecanica şi electrodinamica corpurilor care se deplasează cu viteze obişnuite. Cu ajutorul teoriei relativităţii însă, cunoştinţele noastre s-au extins la viteze comparabile cu viteza luminii, domeniu nestudiat până atunci.

Până la apariţia teoriei relativităţii, era firesc să se presupună că legile mecanicii şi ale electrodinamicii ar fi adevărate şi la viteze mai mari decât vitezele pentru care au fost stabilite experimental. Îndoielile au început numai o dată cu apariţia unor dovezi teoretice şi experimentale care contraziceau ipoteza de mai sus. Aceasta este calea obişnuită de dezvoltare a ştiinţei. Fără generalizări, noi n-am fi fost confruntaţi niciodată cu contradicţia şi n-am fi putut stabili că viteza luminii are un rol în mecanica clasică.

Nu putem şti dinainte care sunt condiţiile experimentale care, modificându-se, infirmă o lege a naturii, descoperită de noi. Pentru a descoperi o încălcare, trebuie să faci mai întâi cea mai. Simplă presupunere şi

anume, că legea se poate extinde şi dincolo de limita condiţiilor pentru care a fost formulată. Apoi se impune să verificăm dacă această presupunere nu intră în contradicţie cu noile experimente.



Noi ştim în mod sigur că dezvoltarea ştiinţei nu va nega relaţiile cunoscute, ci numai va preciza domeniul lor de aplicabilitate. Tocmai stabilitatea cuceririlor ştiinţei ne permite să distingem limitele dintre verosimil şi imposibil.

„Ştiinţa este adevărul înmulţit cu îndoiala"

Delimitarea dintre verosimil şi imposibil nu s-a făcut întotdeauna cu suficient temei. Istoria cunoaşte exemple când nu numai cei care nu aveau contingenţă cu ştiinţa, ci chiar savanţii s-au înşelat în privinţa graniţelor posibilului.

La începutul secolului trecut, Academia franceză a hotărât să nu fie luate în consideraţie lucrările privitoare la pietrele căzute din cer. Exista opinia că toate descrierile meteoriţilor „pietre cereşti" – sunt rodul fanteziei, întrucât pietrele n-au de unde să cadă. Această cale de a nega şi a înlătura tot ceea ce nu se poate explica este însă foarte periculoasă.

Există multe exemple de idei preconcepute care au frânat dezvoltarea ştiinţei. În, anii ’30, atunci când s-a pregătit un experiment pentru verificarea legii simetriei la reflexie în dezintegrarea ß, fizicienii teoreticieni erau atât de convinşi de inviolabilitatea acestei legi, încât i-au ridiculizat pe experimentatori, iar experimentul n-a mai fost efectuat. Abia în anii ’50 teoreticienii au ajuns la concluzia că această lege ar putea fi încălcată în dezintegrarea ß, iar experimentul le-a confirmat concluziile.

Unul dintre cei mai mari fizicieni ai secolului al XX-lea, Wolfgang Pauli, considera că teoria lui Dir ac are un neajuns insurmontabil şi anume acela că ea prezicea existenţa pozitronilor, care pe atunci nu fuseseră încă descoperiţi.

Nici Albert Einstein n-a fost imun faţă de astfel de greşeli. După formularea teoriei generale a relativităţii, care arată că în preajma corpurilor cu masă mare geometria euclidiană îşi pierde valabilitatea, Einstein a făcut

încă un pas de o îndrăzneală nemaiîntâlnită. El şi-a aplicat teoria la întregul Univers, folosind în locul distribuţiei reale a masei, o distribuţie medie uniformă, aşa cym se face în studierea gazelor.

S-a constatat că ecuaţiile teoriei gravitaţiei unui astfel de univers nu admit soluţii staţionare. Dar Einstein dorea să obţină o soluţie care să descrie un Univers închis în sine, cu o rază de curbură independentă de timp. Aceasta era ideea lui preconcepută. El a fost nevoit să introducă în mod artificial un termen suplimentar, care a stricat frumuseţea ecuaţiilor gravitaţiei.

Aproximativ tot pe atunci, marele matematician din Petrograd, Aleksandr Aleksandrovici Fridman (1888-1925) a studiat soluţiile posibile ale ecuaţiilor lui Einstein şi a ajuns la concluzia că Universul se dilată şi că, în funcţie de valoarea densităţii medii a materiei, pe lângă modelul închis al Universului există şi un model deschis, în care proporţiile cresc nelimitat. Einstein a criticat lucrarea lui Fridman, dar, după aceea, a fost în întregime de acord cu rezultatele matematicianului petersburghez şi a renunţat la termenul introdus suplimentar în ecuaţiile gravitaţiei, lată ce scria Einstein în cea de-a doua sa observaţie pe marginea lucrării lui A.A. Fridman: „Critica mea, aşa cum m-am convins din scrisoarea lui Fridman, transmisă prin d-l Krutkov (Iuri Aleksandrovici Krutkov, membru corespondent al Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S., profesor la Universitatea din Leningrad) se baza pe o greşeală a mea în calcule. Consider că rezultatele lui Fridman sunt corecte şi pun teoria într-o nouă lumină”[11].

Aceste cuvinte au ajuns la Fridman cu puţin înainte de moartea sa. Soluţia lui Fridman a fost confirmată experimental în 1929, când astronomul american Edwin Hubble a stabilit că Universul se află în expansiune.

În epoca noastră toate cazurile de greşeli asemănătoare se studiază cu minuţiozitate şi din ele se trag concluzii metodologice. Datorită mijloacelor de comunicaţie bine puse la punct, la examinarea problemelor disputate pot lua parte oameni de ştiinţă din toate ţările. Din acest motiv, astăzi, chiar dacă apar erori ştiinţifice, ele au viaţă scurtă.

„Aş vrea sii cred, dar n-am temeiuri”

Ştiinţa nu stabileşte numai graniţele posibilului, dar deosebeşte în acelaşi timp cu exactitate presupunerile, chiar şi pe cele mai verosimile, de

---

11 Ideile cosmologice preconcepute ale lui Einstein sînt discutate în cartea lui Jacques Merleau-Ponty, Cosmologia secolului XX, Ed. Ştiinţifică şi Enciclopedică, 1978, p. 58 — 78. — Nota trad.

afirmaţiile dovedite. Dacă n-ar exista această reglementare restrictivă, ştiinţa s-ar îneca în marea de superstiţii şi de presupuneri nefondate. Delimitând lucrurile verosimile de cele dovedite, ştiinţa clarifică ce afirmaţii necesită o continuare a cercetării.

Presupunerea că şi în alte lumi există viaţă nu contrazice ştiinţa şi reprezentanţii acestor lumi ar fi putut vizita odinioară Pământul. Dar nu există nicio dovadă pe baza căreia să se afirme că ei au fost vreodată aici. La fel, după părerea specialiştilor, nu există niciun temei să se considere că farfuriile zburătoare ar fi altceva decât fenomene de optică atmosferică.

Este, desigur, foarte plicticos să tot negi fapte neobişnuite. Dar, ca urmare a acestei negări, apare o minune adevărată, şi nu una falsă. Dovadă – binecunoscutul „paradox al gemenilor”.

Conform teoriei relativităţii, dacă unul dintre gemeni călătoreşte cu o navă care se deplasează cu o viteză comparabilă cu viteza luminii, atunci când se întoarce, acesta este mai tânăr decât fratele care a rămas acasă. Afirmaţia, deşi uimitoare, a fost dovedită nu numai teoretic, ci şi experimental. Ceasurile atomice ultraprecise, trimise cu avionul, au indicat la întoarcere o durată mai mică decât timpul indicat de ceasuri identice, rămase pe Pământ. Desigur, viteza avionului este mult mai mică decât viteza luminii, astfel încât întârzierea a fost şi ea mică, reprezentând o proporţie de mărimea v2/c2 din durata zborului. Totuşi, această întârziere (de ordinul a 1(T8 secunde) nu numai că s-a confirmat, ci a şi coincis, în limita erorilor experimentale, cu predicţiunea teoriei.

Iată încă un exemplu. Întotdeauna s-a crezut că flora şi fauna marină există numai la adâncimi nu prea mari, unde mai pătrund razele soarelui şi deci unde mai este posibilă fotosinteza. Dar, recent, pe fundul oceanului, la adâncimi de câţiva kilometri, unde nu pătrunde nicio rază de soare, s-au descoperit zone de temperatură ridicată de natură vulcanică, în care, probabil ca rezultat al unor procese de sinteză chimică, au apărut o floră şi o faună specifice. Un cunoscut oceanolog a prezentat o comunicare despre aceste

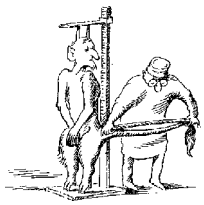
zone adânci la un congres. Amintind despre monstrul din Loch-Ness şi despre omul zăpezilor, acelaşi savant a spus: „Tare-aş vrea să cred, dar n-am temeiuri”. Cuvintele „n-am temeiuri” înseamnă că problema a fost cercetată, dar s-a ajuns la concluzia că nu există dovezi pentru a crede în afirmaţiile iniţiale. Aceasta este şi formula demersului ştiinţific: „vreau să cred” * dar, întrucât „n-am temeiuri”, trebuie să renunţ la ideea în cauză.

Cum se nasc legendele înclinaţia sprex tainic, neobişnuit, apetitul pentru minuni sunt în firea omului, la fel ca şi înclinaţia spre frumos.

Einstein spunea: „Ceamai frumoasă şi mai profundă trăire omenească este misterul”. După părerea lui Einstein, sentimentul tainei se află la. Originea tuturor tendinţelor profunde din ştiinţă şi din artă. Dar, din păcate, înclinaţia* spre tainic este în acelaşi timp cauza multor zvonuri antiştiinţifice.

Trăirile tainice au inspirat mitologia, eposul, litera tu ra, arta. Aşteptarea entuziastă a minunii a pătruns în filosofia medievală şi a stimulat arta. Epoca Renaşterii a descoperit însă o nouă minune – pe omul atotputernic, asemănător lui Dumnezeu. Dar, alături de idealul măreţ, există şi lumea întunecată a superstiţiilor. În timp ce) în lume se scriau capodopere poetice şi se picta, în timp ce avea loc marea cotitură în ştiinţă, cultură şi în concepţia despre lume, provocată de lucrările lui Copernic, Galilei şi Kepler, lumea obscură se ocupa de astrologie, ghicea în cadavre, stârnea demonii” îngropa măgarii în pământ ca să aducă ploaia… În zilele noastre (spuneau Ilf şi Petrov) există alături două lumi – cea mare şi cea mică. În lumea cea mare se construiesc laboratoare automate care zboară până la alte planete, le fotografiază, fac analize şi trimit rezultatele pe Pământ. În lumea mică merg din mână în mână fotografii ale unor veniţi de aiurea, umanoizi, care, după cum se ştie, sunt de trei feluri – fie cu o înfăţişare neatrăgătoare, fie imposibil de deosebit de europeni, fie giganţi care răstoarnă cu o singură mână tractoarele întâlnite în drum. F1

Se poate crede în calităţile magice ale unei potcoave bătute în uşă? Se înţelege că simpla credinţă într-o prevestire poate modifica într-atât comportarea omului, încât prevestirea



va începe să se adeverească. Este foarte probabil ca omul care este convins că va avea neplăceri marţi treisprezece, să le aibă exact atunci.

Dar revenind la întrebarea iniţială, putem accepta vreo legătură logică între potcoava din uşă şi soarta noastră? Această legătură ar fi tot atât de nejustificată ca şi încercarea de a stabili o relaţie între razele orbitelor planetelor sistemului solar şi rapoartele frecvenţelor sonore ale acordurilor muzicale. Chiar dacă ar exista o legătură, aceasta ar fi pur întâmplătoare, întrucât fenomenele sunt incompatibile, ele fiind determinate de legi diferite ale naturii. Căutarea unor astfel de relaţii, oarecum scuzabilă la începuturile epocii moderne, reprezintă în zilele noastre o reîntoarcere la mistica numerologică a cabaliştilor.

Iată încă un exemplu de comparare a ceva ce este incompatibil – afirmaţia că mişcarea electronilor în atom ar fi, chipurile, asemănătoare cu mişcarea planetelor în jurul Soarelui. De fapt, mişcarea electronilor în atom are loc conform legilor mecanicii cuantice, care nu seamănă deloc cu legile mecanicii clasice, care determină mişcarea planetelor. Forţele electrice de interacţiune ale electronilor cu nucleul sunt de IO39 de ori mai puternice decât forţele de gravitaţie, iar electronii se resping unul pe celălalt, în timp ce planetele se atrag. Nu există niciun fel de temei pentru o analogie. Asemănarea exterioară a fenomenelor se rezumă la faptul că forţa de interacţiune dintre atomul ionizat şi electron se comportă la distanţe mari la fel ca forţa gravitaţională. Confuzia este întreţinută însă de persistenţa cu care pentru simplificare, în. Multe cărţi în care este prezentat tabelul lui Mendeleev, electronii sunt desenaţi pe orbite, deşi, în conformitate cu legile mecanicii cuantice, ar trebui să fie înfăţişaţi norii electronici de diverse forme.

La un control riguros, toate coincidenţele de acest fel se dovedesc rezultatul unei manipulări forţate, conştiente sau nu, a faptelor. Cu toate acestea, în permanenţă apar legende care leagă între ele lucruri incompatibile, sau, în cel mai bun caz, stabilesc fără temei astfel de legături. Legendele se schimbă în funcţie de loc sau de timp. Moda şedinţelor de

spiritism apare şi dispare, fiind înlocuită de discuţiile despre chirurgia fără curgere de sânge, de triunghiul Bermudelor, sau de OZN-uri.

Dar cum să distingi născocirile de faptele autentice? Doar multe dintre lucrurile pe care oamenii de ştiinţă le neagă, sunt susţinute de martori.

Singurul mijloc convingător de stabilire a adevărului este organizarea unui experiment ştiinţific, adică a unui experiment întreprins de specialişti, cu rezultate reproductibile şi confirmat de alţi cercetători prin experimente independente.

În ceea ce priveşte martorii, afirmaţiile lor trebuie privite cu deosebită circumspecţie. Să ne amintim că, în secolul trecut, pe temeiul mărturiilor, se puteau face diferite portrete ale diavolului, portrete care ar fi putut satisface şi pe cel mai exigent colaborator al secţiei de urmărire penală. Şi, în deplină concordanţă cu metoda ştiinţifică, stareţul Zosima, din romanul *Fraţii Karamazov*, de Dostoievski, a sfătuit-o pe călugăriţa care vedea diavoli noaptea să ia un laxativ.

Deosebirea dintre aprecierea ştiinţifică a veridicităţii şi cea comună este evidentă în disputele legate de telepatie. Dar mai întâi trebuie precizat ce anume înseamnă telepatia. Prin telepatie se înţelege transmiterea gândurilor cu ajutorul unor câmpuri cunoscute, său deocamdată necunoscute, cu condiţia excluderii vreunui contact luminos, ori sonor, ori de alt fel, între persoana care emite şi cea care recepţionează. Din acest motiv, hipnoza nu corespunde acestei definiţii şi nu dovedeşte existenţa telepatiei.

În viaţa fiecăruia dintre noi există evenimente care, aparent, ar trebui explicate prin telepatie. Capacitatea de a simţi dispoziţia în care se află cei apropiaţi şi chiar de a le ghici gândurile desigur că există. Totodată, după afirmaţiile specialiştilor care au studiat aceste fenomene, deocamdată nu avem dovezi ştiinţifice despre existenţa telepatiei. Aceasta înseamnă că, în pofida numeroaselor încercări, n-au existat până acum niciun fel de experimente sigure, care să excludă toate explicaţiile alternative posibile şi care să dea rezultate reproductibile, cu o statistică suficientă pentru a fi convingătoare.

Tocmai din acest motiv, majoritatea oamenilor de ştiinţă sunt sceptici în ceea ce priveşte telepatia.

Există multe fenomene interesante şi puţin studiate, legate de o mare sensibilitate psihică şi nervoasă. Dacă ţineţi de mână o persoană care are o

astfel de sensibilitate, sau chiar numai dacă staţi alături de ea, dumneavoastră, fără să vă daţi seama, îi puteţi transmite informaţii prin mişcări sau sunete, ce scapă observaţiei şi controlului. Fără să realizaţi îi corectaţi acţiunile prin semnale de tip „da" şi „nu". Este vorba despre fenomenele ideomotoare, care pot fi uşor confundate cu telepatia, dar ele, ca şi hipnoza, nu constituie o dovadă a existenţei telepatiei.

Una din cauzele răspândirii credinţei în telepatie se bazează pe faptul că oamenii apropiaţi îşi pot uşor ghici gândurile după indicii abia observabile, chiar fără să-şi dea seama de sursele acestei perspicacităţi.

Cu mulţi ani în urmă, pe vremea când eram mai tânăr şi mai credul, am vrut să verific dacă nu cumva am capacitatea să transmit gândurile. Am dat cu banul şi apoi am scris un şir numeros de semne de plus şi de minus, corespunzătoare feţei cu care căzuse moneda: cap sau pajură. La un capăt al mesei şedea prietenul meu, legat la ochi, iar eu m-am aşezat la celălalt capăt şi am început să transmit „telepatic" lista. Privind la semnul plus, mă gândeam la ceva alarmant" iar privind la minus, îmi reprezentam ceva anodin şi calm. Cel de-al doilea participant la experiment trebuia să pună un plus atunci când îmi simţea emoţia şi un minus atunci când îmi detecta liniştea. Comparând foile de hârtie, m-am cutremurat – distribuţia semnelor era absolut identică., fără nicio greşeală. Observând că o iau prea în serios, prietenului meu i-a fost milă de mine şi mi-a spus: „Când te gândeai la ceva emoţionant, respirai sacadat, şi eu puneam plus" iar când respirai liniştit, puneam minus".

Experienţele de acest fel sunt neconvingătoare, întrucât este foarte greu să se elimine toate explicaţiile simple ale fenomenului. Ciclotronul nu are niciun interes să-l păcălească pe experimentator, dar în experimentele de telepatie, rolul instrumentelor îl joacă oamenii, iar oamenii sunt deseori inte-r resati în înşelăciuni.

În cartea lui A. Vadimov şi M. Trivas, *De, la magii de odinioară la iluzionista din zilele, noastre*, se povesteşte că strălucitul iluzionist de la începutul secolului nostru, Harry Houdini, a oferit o mare sumă de bani oricărui mediu care ar face ceva ce el, Houdini, nu poate face. Niciun mediu n-a reuşit să apară în faţa lui Houdini cu demonstraţii de telepatie sau telekineză fără să fie demascat. Experimentul pentru verificarea capacităţilor telepatice trebuie întreprins de un întreg consiliu de specialişti; din acest

consiliu trebuie să facă parte iluzionişti, fizicieni, biologi, fiziologi, psihologi, dar rolul principal îl au iluzioniştii – ei sunt cei ce ajută la excluderea explicaţiilor mai simple.

Unul dintre izvoarele care alimentează toate superstiţiile este deformarea catastrofală a statisticii: zvonurile despre cazurile încununate de succes se răspândesc, în timp ce toate eşecurile rămân necunoscute. Cine este interesat să afle că prezicerile unei ghicitoare nu s-au adeverit? Dar dacă fie şi o mică parte din prezicere s-a împlinit, faptul este amplificat şi înfrumuseţat.

Desigur, aceste considerente nu demonstrează inexistenţa telepatiei, ci numai că existenţa ei nu este plauzibilă.

Aici se relevă încă o caracteristică a abordării ştiinţifice. Aşa după cum juriştii pornesc de la prezumţia nevinovăţiei, ştiinţa porneşte de la prezumţia inexistenţei minunilor. Noi nu suntem obligaţi să demonstrăm că nu există fenomene stranii sau neobişnuite. Trebuie demonstrat că ele există. Din acest motiv, până când nu sunt excluse în mod categoric toate explicaţiile naturale, adică de fapt cele mai plauzibile, nu este cazul să se accepte altele mai puţin plauzibile. Despre aceste lucruri s-a exprimat foarte plastic cunoscutul fizician american Richard Feynman: „Pe baza propriilor mele reprezentări despre lumea exterioară, eu cred că relatările despre farfuriile zburătoare sunt mai degrabă consecinţa unui fapt bine cunoscut, anume al gândirii iraţionale a locuitorilor planetei noastre, decât rezultatul eforturilor raţionale ale unor fiinţe ce gândesc de pe altă planetă. Prima variantă este mult mai plauzibilă”.

Misiunea ştiinţei este să selecteze cele mai plauzibile explicaţii şi să se conformeze acestora, până în momentul când expen cimentul o obligă să le respingă. Aceasta nu înseamnă că trebuie interzise încercările de a descoperi fenomene neplau zibile. Feynman spunea: „Una dintre căile de a opri progresul ştiinţei este să permiţi experimente numai în acele domenii în care toate legile au fost deja descoperite”.

Desigur că experimentatorii nu trebuie să-şi fixeze drept ţel dovedirea ori infirmarea existenţei telepatiei. Problema constă în studierea multilaterală a tuturor posibilităţilor de interacţiune umană, începând cu câmpurile fizice care îl înconjoară pe om. Încercarea de a dovedi sau de a respinge ceva duce deseori la experienţe tendenţioase. Descoperirile apar numai ca un produs secundar al cercetărilor profunde.

În ştiinţă s-a adoptat de mult o ipoteză simplă şi convingătoare, potrivit

căreia procesele din natura vie sunt determinate în cele din urmă de legile interacţiunii electronilor, atomilor şi moleculelor, stabilite în experimentele de fizică. Până acum, ipoteza de mai sus a fost confirmată. Mai mult" ea a fost atât de fructuoasă, încât a explicat până şi un fenomen atât de misterios cum ar fi ereditatea.

Dar va trebui să abandonăm această ipoteză dacă nişte experimente convingătoare vor dovedi că în natura vie există procese care nu se bazează pe legile fizicii. Un astfel de exemplu ar fi descoperirea unui câmp care nu se manifestă în experimentele fizice. Totuşi, înainte de a trage o concluzie atât de importantă, ca existenţa timpurilor nefizice care transmit informaţie, trebuie să se stabilească în mod indubitabil fenomenul însuşi, excluzând toate explicaţiile sale mai simple.

Nădăjduiesc că aceste observaţii critice nu vor leza sentimentele celor care preţuiesc latura poetică a legendelor *şi* credinţelor, şi nici nu vor slăbi interesul firesc al dumneavoastră pentru lucrurile misterioase şi pentru ceea ce este necunoscut.

„*... Necazu-i când s-o apuca de copt colaci nepriceputul*"

Spun adesea: „după cum afirmă specialiştii". Aceasta n, u înseamnă că n-am şi eu o părere proprie. Am subliniat însă că dreptul la aprecieri îl au numai specialiştii din domeniul respectiv al ştiinţei. Dacă vi se întâmplă să auziţi vorbindu-se despre triunghiul Bermudelor, sau despre OZN-uri, aveţi tot dreptul să-l întrebaţi pe respectivul ce profesie are şi de ce crede că părerea lui ar trebui acceptată cu mai multă uşurinţă decât cea a oceanologilor, sau a specialiştilor în optica atmosferică.

Ca să îţi faci o părere proprie, nu trebuie să fii neapărat tu însuti un specialist. Dar trebuie să ai o pregătire suficientă.

Pentru a-ţi da seama care opinie are mai multă autoritate.

Sper că nu mai trebuie să conving pe nimeni de necesitatea unui profesionalism desăvârşit în ştiinţă. De fapt, orice meserie pretinde o atitudine de profesionist şi un studiu corespunzător. Nimeni n-ar accepta să fie operat de un chirurgamator. Un cântăreţ, chiar dacă are calităţi deosebite, devine cu adevărat cântăreţ numai după un studiu îndelungat. Bazându-te doar pe bunul simţ, fără să ai studii de specialitate, nu poţi analiza opere de artă, deşi, din păcate, sunt destui careo fac. Nu ai dreptul nici măcar să spui „e bine" sau „nu e bine", până când nu eşti sigur că ai înţeles problemele pe care le ridică

autorul şi mijloacele de care se foloseşte. În privinţa operelor de artă, spectatorul, indiferent de calificare, aredreptul să spună numai dacă îi plac sau nu. În ştiinţă însă" exprimarea opiniei necesită un anumit nivel de cunoştinţe. Nu poţi spune: „Mie nu-mi place teoria relativităţii". Pentru aceasta este nevoie să înţelegi semnificaţia afirmaţiilor teoriei.

Nu este obligatoriu să ai o diplomă universitară. Calităţile profesionale le poţi dobândi şi ca autodidact. Nu toţi absolvenţii Institutului de literatură sunt scriitori, în schimb inginerul Dostoievski, ofiţerul de artilerie Tolstoi, medicul Cehov – sunt exemple de profesionişti ai literaturii.

Profesionist este cel care stăpâneşte la perfecţie metoda,» care cunoaşte bine toate subtilităţile, toate pericolele şi secretele meseriei.

Profesionalismul este o condiţie necesară, dar, desigur insuficientă, el fiind într-un anume sens bunul simţ al activităţii ştiinţifice. Şi mai importante sunt ideile neaşteptate" clarificările, intuiţia… Totuşi, ideile neaşteptate care se dovedesc viabile şi după verificări încolţesc numai pe terenul fertil al profesionalismului.

Fără calităţi profesionale nu numai că nu se pot face lucrări ştiinţifice, dar nici măcar nu se poate emite vreo idee cât de cât coerentă. Intuiţia ştiinţifică, absolut necesară pentru generarea ideilor, apare ca rezultat al activităţii ştiinţifice susţinute. La fel ca în circ, în ştiinţă lucrurile complicate sunt apanajul celor cu cel mai înalt nivel profesional.

Toate discuţiile despre avantajele diletantismului pornesc de la o confuzie: oamenii uită că, pentru ca un fizician, să devină sculptor, şi un lăcătuş, scriitor, aceştia trebuie să stăpânească tainele noii lor profesii.

Mintea ageră a diletanţilor, negrevată de cunoştinţe inutile, nu cunoaşte limite, astfel încât le este accesibil orice domeniu ştiinţific sau artistic. Şi cât de romantice le sunt plăsmuirile! Nu ţi-e oare sufletul cucerit de afirmaţia ca ideile teoriei relativităţii pot fi găsite în vechile legende indiene? Dostoïevski îi răcoreşte cu un duş rece pe fantezişti, afirmând în *Jurnalul unui scriitor*[12]: „Puteţi să: mi daţi tot ce doriţi… *Însemnările unui nebun*, oda *Dumnezeul*, *Iurii Miloslavski*, poeziile lui Fet, tot ce vreţi, şi mă oblig să vă găsesc în primele zece rânduri că e vorba de o alegorie despre războiul franco-prusian sau un pamflet împotriva actorului Gorbunov, într-un cuvânt, despre ce vreţi". Teoria ştiinţifică este tot atât de departe de mitul antic, ca un avion cu reacţie din

12 Vezi F.M. Dostoievski, Opere, vol. II, Editura Univers, 1974. — Nota trad.

zilele noastre de covorul zburător.

Când diletantismul nu iese din cadrul unui hobby, atunci când el constituie numai odihna după munca de zi cu zi, contribuind totodată la lărgirea orizontului, el este minunat. Dar ca să faci un lucru serios, trebuie să fii profesionist. Descoperirea Troiei este un exemplu rarisim de succes al unui neprofesionist. Dar remarcabilul entuziast Heinrich Schliemann[13], grăbindu-se să facă o descoperire, a distrus straturile arheologice superioare, care au fost definitiv pierdute pentru ştiinţă.

Unii oameni, fără legături directe cu ştiinţa, se apucă să emită judecăţi despre probleme care necesită o educaţie profesională a gândirii, ba chiar pretind că fac o cotitură în ştiinţă, eludând etapa uceniciei. Văzându-i, lămâi cu un gust amar.

Există multe procedee profesionale comune tuturor ştiinţelor exacte. Sunt metode care oferă posibilitatea verificării validităţii ideilor încă înainte de începerea lucrului. Este posibil să se dividă problema într-o serie de probleme mai uşoare, a căror rezolvare este mai simpla. După soluţionarea problemei mai simple, este incomparabil mai uşor să se rezolve problema mai complicată. Este foarte important să se discute lucrarea împreună cu alţi specialişti, în toate stadiile, de la primele indicii, până la deplina ei finisare. Dar despre aceasta vom mai vorbi.

Lucrul cel mai important, fără de care nici cele mai înalte capacităţi profesionale nu duc la reuşită, este să te bucuri şi să te uimeşti la fiecare succes, cât de mic, la fie care taină dezlegată şi să te comporţi faţă de ştiinţă cu acea evlavie despre care vorbea Einstein: „Sunt mulţumit şi uimit că reuşesc să dezleg aceste taine şi încerc cu smerenie să îmi reprezint un tablou, nici pe departe complet, al structurii Universului”.

Putem deosebi adevărul de minciună?

Raţiunea n-are de ales, dacă în faţa îi stau adevărul şi născocirea.

Cicero

Nu de mult, o actriţă talentată mi-a povestit că în prezenţa unui numeros public, un individ i-a suspendat cizmele în aer numai prin „forţa

13 Vezi C.W. Ceram, Zei, morminte, cărturari, Editura Ştiinţifică, 1968. — Nota trad.

spiritului”. Respectivul a afirmat că posedă 9 000 de „unităţi” din această forţă, în timp ce recordul mondial ar fi de numai 7 000.

Zilnic oamenii nefamiliarizaţi cu ştiinţele naturii sunt asaltaţi de fapte neverificate şi de zvonuri, astfel încât credinţa în supranatural a devenit un fel de modă, ca şi un oarecare semn de rafinament. Sper ca lucrurile discutate aici să ajute – fie şi parţial – la deosebirea raţionalului de iraţional, a trucului ingenios de adevărul ştiinţific, a minunii stranii de minunea adevărată a armoniei Universului.

Să încercăm să răspundem la câteva întrebări.

În ce constă metoda ştiinţifică de cunoaştere?

Cum se nasc erorile? Care sunt micile greşeli dè raţiona» ment care duc la concluzii antiştiinţifice?

Şi, în sfârşit, cum se poate deosebi adevărul ştiinţific de eroare?

„Îndoiala îmi oferă tot atâta desfătare cât cunoaşterea” (Dante)

Problemele ştiinţei se află la graniţa dintre lucrurile cur noscute şi cele surprinzătoare. De aici decurge şi una dintre principalele ei trăsături – deschiderea la nou, capacitatea de a reexamina reprezentările încetăţenite şi – dacă este nevoie – dea renunţa la ele.

Ştiinţa este alcătuită din fapte, din relaţiile dintre fapte şi din explicaţiile acestor relaţii. Faptele şi relaţiile trebuie respectate cu grijă; aşa cum este respectat Codul Penal. Faptele bine stabilite rămân neschimbate, numai relaţiile se precizează o dată cu dezvoltarea ştiinţei. Interpretarea faptelor şi a relaţiilor, adică reprezentările bazate pe tabloul simplificat în mod conştient al fenomenelor, nu trebuie absolutizate. Reprezentările sau modelele se dezvoltă şi-şi schimbă aspectul cu fiecare nouă descoperire.

În discursul rostit cu prilejul primirii premiului Nobel, Albert Camus a spus că arta păşeşte pe o potecă îngustă între două prăpăstii: de o partevidul, de cealaltă – tendenţiozitatea. În ştiinţă, aceste două prăpăstii sunt superficialitatea şi dogmatismul, cele două laturi ale pseudoştiinţei. Cei superficiali îşi elaborează concepţiile fără să ţină seamă de fapte şi de relaţii, ignorând fenomenele şi relaţiile dintre ele şi bazându-se doar pe intuiţii neverificate. Dogmaticii absolutizează reprezentările curente. E greu de spus care dintre aceştia sunt mai periculoşi.

Printre oamenii de ştiinţă incapabili să renunţe la reprezentările încetăţenite sunt mulţi care au o vastă cultură ştiinţifică şi care produc lucrări

bune, deşi fără să iasă din cadrul obişnuit. Atâta timp cât se limitează la această activitate, ei sunt folositori. Pericolul apare atunci când ei încep să facă prognoze şi să influenţeze alegerea direcţiilor noi.

Din fericire, ştiinţa are capacitatea de a se autopurifica – legătura cu conexiune inversă îi asigură stabilitatea. După o serie de insuccese, dogmaticii şi superficialii încetează să influenţeze dezvoltarea ştiinţei.

Secolul al XX-lea a oferit exemple uimitoare de renunţare la reprezentările obişnuite din fizică. Teoria relativităţii a apărut ca rezultat al revizuirii înţelesului intuitiv al simultar neităţii, care avea o vechime de sute de ani. Mecanica clasică porneşte de la premisa că fenomenele pot fi descrise dacă se cunosc coordonatele şi vitezele particulelor. Mecanica cuantică impune renunţarea la această premisă.

Oare aceste renunţări la vechile premise nu dovedesc neconsistenţa ştiinţei din trecut?

„Ca să nu încâlci, să nu zdruncini, sa nu distrugi, ci să construieşti...” (V. Vâsoţki)[14]

Există o părere eronată că valoarea unei descoperiri ştiinţifice s-ar măsura, chipurile, după cât de multe concepţii răstoarnă.

Importanţa revoluţiei ştiinţifice constă însă nu în capacităţile ei distructive, ci în cele constructive, în impulsul pe care îl imprimă dezvoltării ştiinţei, în domeniile noi pe care le deschide.

Adesea precedentele concepte ştiinţifice rămân neschimbate. O răsturnare fără vărsare de sânge a avut loc în astrofizică, o dată cu apariţia radioastronomici, iar în fizica teoretică, atunci când s-au descoperit „graficele Feynman – un mijloc de a obţine relaţii între mărimile fizice cu ajutorul desenelor, care se interpretează la sfârşitul lucrării.

Şi fizica particulelor elementare s-a schimbat categoric în ultima vreme, dar fără modificarea. Principiilor fundament tale ale descrierii lumii fizice.

Dar nici chiar revoluţia ştiinţifică radicală nu desfiinţează, ci numai revizuieşte, modifică semnificaţiile vechilor relaţii şi delimitează graniţele valabilităţii acestora.

În ştiinţă există „principiul corespondenţei” după care, noua teorie trebuie să treacă în cea veche, în condiţiile pentru care a fost stabilită

---

14 Regretat actor al teatrului Taganka din Moscova, (1938 — 1980), compozitor şi interpret de cîntece satirice cu caracter social, de mare popularitate în Uniunea Sovietică. — Nota irad.

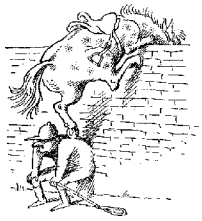
valabilitatea vechii teorii.

Stabilitatea este însuşirea cea mai importantă a ştiinţei, altfel, după fieçare descoperire, totul ar trebui luat de la început.

După ce a fost stabilită echivalenţa dintre energia mecanică şi energia termică (şi s-a, găsit aşa-numitul echivalent mecanic al căldurii), fizicienii au renunţat la reprezentarea căldurii ca pe un fluid, numit caloric, care ar curge de la corpul fierbinte la cel rece. Dar legile conductibilităţii, stabilite pe vremea teoriei caloricului, nu s-au schimbat.

La începutul secolului al XX-lea, teoria atomistă a materiei a fost pe deplin dovedită, fiind unanim acceptată. Toate relaţiile ştiinţelor „macroscopice" – termodinamica, hidrodinamica, teoria elasticităţii – s-au păstrat fără schimbări.

Aceste ştiinţe au continuat să prevadă fenomene noi, numai că, în noua situaţie, ele şi-au delimitat mai precis domeniile de aplicabilitate.



Tot atunci, la începutul secolului, a avut loc o cotitură în concepţia noastră despre spaţiu, timp şi gravitaţie, dar ştiinţa „vitezelor mici" s-a menţinut nu numai în accepţia principiului de corespondenţă, ci a continuat să se dezvolte şi, practic, întreaga tehnică modernă, reprezentată de calculatoare, de televiziune şi de radio, de zborurile cosmice, de chimia şi biologia contemporane – folosesc în mod curent reprezentările newtoniene despre spaţiu şi timp.

Un exemplu grăitor de împletire a ideilor vechi şi noi îl oferă istoria eterului (vezi p. 210).

Pentru explicarea legilor de propagare a luminii în vid şi în corpurile în mişcare, eterului i se atribuiau cele mai compii cate şi mai contradictorii însuşiri. Teoria relativităţii a rezol vat toate contradicţiile eterului, aşa cum apăreau ele în secolul al XIX-lea. Mai mult, a dispărut până şi necesitatea acestei noţiuni. Totuşi, mai. Târziu, s-a clarificat că fostul eter – vidui – nu este numai purtătorul undelor electromagnetice» În vid au loc oscilaţii

neîntrerupte ale câmpului electromag-l netic („oscilaţiile de zero”), se nasc şi dispar electronii şi pozi tronii, protonii şi antiprotonii şi, în general, toate particulele elementare. Dacă se ciocnesc, să zicem, doi protoni, particulele virtuale din vid devin reale şi se naşte astfel un fascicul de particule.

Vidul se vădeşte a fi un obiect fizic extrem de complicat, în esenţă, fizicienii s-au întors la concepţia eterului, dar’ de această dată, fără contradicţii. Vechea noţiune n-a fost dezgropată din arhivă, ci a apărut din nou, în procesul dezvoltării ştiinţei. Noul eter a fost denumit „vidul fizic”.

Dar istoria eterului nu se termină aici.

Teoria relativităţii porneşte de la premisa că în lumea noastră nu există niciun sistem preferenţial de coordonate şi, din acest motiv, nu există viteze absolute, ci numai mişcări relative. Dar, după descoperirea radiaţiei reliete[15], un asemenea sistem de coordonate s-a dovedit real – acesta este sistemul în care cuantele radiaţiei relicte sunt distribuite în simetrie sferică, aşa cum sunt distribuite vitezele particulelor de gaz într-o incintă nemişcată. (Radiaţia relictă constă din unde electromagnetice apărute cu circa 20 de miliarde de ani în urmă, când Universul era fierbinte. Studiind radiaţia relictă, se poate deduce cum arăta Universul în stadiile sale timpurii de dezvoltare.) în „noul eter” există viteze absolute totuşi, consecinţele teoriei relativităţii se menţin cu o pre cizie colosală, în concordanţă cu principiul de corespondenţă.

Istoria eterului continuă.

Aplicarea mecanicii cuantice la teoria gravitaţiei a dus la un rezultat de cea mai mare importanţă – în afară de oscilaţiile de zero ale particulelor elementare despre care am amintit mai sus, în vid există oscilaţii de zero ale câmpului gravitaţional. Dar, aşa cum rezultă din teoria gravitaţiei a lui Einstein, modificările câmpului gravitaţional duc la modificarea proprietăţilor geometrice ale spaţiului. Raportul dintre lungimea circumferinţei şi rază oscilează în jurul valorii Ztt, conform geometriei euclidiene. La distanţe mari, aceste oscilaţii practic nu se mai pot decela, dar, pe măsură ce scade scara distanţelor, amplitudinea „vibraţiilor” geometriei vidur lui creşte.

În ultima vreme, fizicienii teoreticieni încearcă să clarifice care este influenţa reciprocă dintre aceste vibraţii ale proprietăţilor geometrice şi vibraţiile de zero ale particulelor elementare. Einstein spera să unifice

---

158 Vezi: Steven Weinberg, Primele trei minvte ale universului, Editura Politică, 1984. — Nota trad.

gravitaţia şi electrodinamica, dar o astfel de teorie ar merge mult mai departe – ea ar însemna o „superunificare” a tuturor interacţiunilor fizice cunoscute.

Romantismul şi poezia ştiinţei constau nu în distrugerea ideilor anterioare, ci în întrepătrunderea şi împletirea ideilor vechi şi noi. În ştiinţă, ca şi în artă, operele noi nu le desfiinţează pe cele vechi, ci le completează.

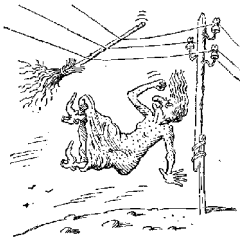
În felul acesta, ştiinţa îşi apără cuceririle. Dar cum se stabilesc adevărurile ştiinţifice? Una dintre metodele cele mai importante este verificarea experimentală a predicţiunilor teoretice.

„Civililor le place să emită judecăţi în probleme militare, mergând până la îndatoririle feldmareşalilor, iar oamenii cu studii inginereşti discută mai ales despre filosofie şi ecmomie politică” (F. Dostoïevski)

„Experimentul este experiment, chiar dacă îl efectuează nişte ziarişti”, s-a scris la noi într-o revistă, în legătură cu întâlnirea redacţiei cu un personaj având calităţi extrasenzoriale, un „mediu”, după cum s-ar fi spus acum o sută de ani. Nu mi s-a întâmplat niciodată să întâlnesc vreun experimentator care să nu zâmbească la auzul acestei fraze. Lucrul cel mai delicat şi mai complicat este organizarea unui experiment cu rezultate univoce. Aici este necesar cel mai strict profesionalism.

Pentru stabilirea adevărului, este necesar un experiment ştiinţific, adică un experiment organizat de specialişti, care să dea rezultate reproductibile, şi care să fie repetat independent de alţi cercetători. Acest procedeu se aplică în mod identic în toate ştiinţele experimentale: în fizică, chimie, astronomie, biologie, psihologie… În astronomie, în locul cuvântului „experiment (pe care dicţionarul îl defineşte după cum urmează: experienţă, încercare, probă), se foloseşte cuvântul „observaţie”, care subliniază imposibilitatea de a schimba, după dorinţa experimentatorului, mersul evenimentelor – dar esenţa rămâne. Experimentul astronomic constă într-o alegere potrivită a locului, momentului şi mijlocului de observaţie, astfel încât să se obţină răspunsul la întrebarea pusă. De fapt, în zilele noastre, cu ajutorul sateliţilor, a devenit posibilă realizarea unor experimente astronomice în adevăratul înţeles al cuvântului.

Chiar şi în, matematică, în procesul căutării demonstraţiilor se emit judecăţi de plauzibilitate, care trebuie verificate, deci se face un experiment.



În ştiinţele experimentale, procesul demonstraţiei nu se întrerupe niciodată, întrucât limitele între care se verifică corectitudinea ipotezelor se extind permanent.

Iată un exemplu de experiment astronomic. După mecanica newtoniană (clasică), planetele trebuie să se deplaseze pe nişte elipse, ale căror axe sunt fixe în spaţiu. Acest fapt a fost verificat prin observaţii numeroase asupra traiectoriei lui Mercur. S-a dovedit că predicţiunea-teoriei lui Newton se verifică extrem de precis; cu toate că orbita lui Mercur se modifică, mişcarea este foarte lentă: o precesie la trei milioane de ani. Concomitent cu confirmarea strălucită a predicţiunilor mecanicii clasice, a apărut şi un paradox – trebuia explicată această abatere minoră, dar principial importantă de la teoria lui Newton, conform căreia orbita ar fi strict nemişcată. Explicaţia a apărut numai după elaborarea teoriei gravitaţiei (teoria relativităţii generale) care a permis calcularea vitezei unghiulare de rotaţie a orbitei, exprimând-o prin constanta gravitaţională, masa Soarelui şi viteza luminii. Acesta este încă un exemplu uimitor al frumuseţii ştiinţei – teoria a legat în mod unitar fenomene atât de diferite ca gravitaţia şi propagarea luminii.

Dar nici în fizică, nici în chimie şi nici în astronomie nu se reuşeşte întotdeauna să se repete condiţiile experimentului. Cum rămâne atunci cu biologia sau cu psihologia, unde obiectele de studiu se deosebesc unul de celălalt?

Pot fi pretinse şi în aceste cazuri repetabilitatea exper rimentului şi reproductibilitatea rezultatelor? Da, repetabilitatea şi reproductibilitatea sunt posibile şi necesare, întrucât fără ele nu există ştiinţă. Desigur că aici este mult mai dificil să se facă un experiment lipsit de ambiguităţi, în schimb, nu este nevoie de precizia extraordinară care s-a impus pentru stabilirea abaterilor astronomice de la mecanica newtoniană. Cel puţin în stadiul lor actual de dezvoltare, în aceste ştiinţe rezultatele calitative sunt considerate satisfăcătoare.

Desigur, obiectele biologice nu seamănă la fel de mult între ele ca moleculele, dar au uimitor de multe lucruri în comun. Această parte comună şi convergenţa proprietăţilor permit să se stabilească legităţile ce stau la baza ştiinţei. Legile geneticii au fost descoperite de Gregor Mendel la mazăre şi de Thomas Morgan la drosophyla, dar s-au dovedit aplicabile la o mulţime de alte obiecte biologice.

Până şi diversitatea proprietăţilor poate constitui obiec tul ştiinţei, adică al experimentului repetabil. Se pot studia caracteristicile statistice ale obiectelor, determinând probabilitatea apariţiei unuia sau altuia dintre caractere.

Trebuie spus că în orice domeniu ştiinţific, un experiment de fineţe se reproduce ca dificultate. În fizică, atunci când efectul studiat este comparabil cu fondul[16] fenomenelor care împiedică măsurătoarea, se impune efectuarea de măsurători numeroase, pentru a „acumula statistică'-, astfel încât rezultatul să devină suficient de convingător.

Majoritatea erorilor şi a convingerilor greşite apar ca ur mare a deducţiilor pripite bazate pe experimente neconvingătoare. Dar care experimente trebuie considerate convingă-3 toare? Oare trebuie să credem ceea ce vedem cu ochii pro? prii?

În codru, pe când tot păşeam înainte Văzui o raţă şi o vulpe care coceau plăcinte Şi-un urs care-ncerca nişte ciuboate Şi-un prost ce le credea pe toate.

(Cântec englez pentru copii)

Şi ce-ar fi dacă dumneavoastră aţi vedea cu propriii ochi un mediu zburând prin cameră? Înainte de toate, m-aş stră-3 dui să exclud cele mai plauzibile explicaţii – truc reuşit, halucinaţie, hipnoză, iluzie optică. Toate acestea sunt income parabil mai probabile decât încălcarea legilor bine verificate ale gravitaţiei. Dacă vedeţi lucruri neverosimile, ştergeţi-vă ochelarii!

O cană ar putea sări brusc un metru sub acţiunea lovi turii moleculelor mesei pe care stătea, dacă moleculele s-ar mişca toate în aceeaşi direcţie. Probabilitatea unui astfel de fenomen este însă extraordinar de mică. Întrebat despre o astfel de posibilitate, renumitul fizician polonez Marian

16 în cercetarea experimentală, prin fond se înţelege totalitatea fenomenelor parazite care pot da efecte comparabile cu fenomenul studiat. în fizica nucleară, fondul este cel mai adesea radiaţia cosmică. — Nota trad.

Smoluchowski a răspuns: „Aş zice că este mult mai probabil să nu fie adevărat ceea ce văd”.

Uimitoarea credulitate a oamenilor faţă de relatările uimitoare se bazează pe tendinţa proprie psihicului uman de a se confrunta cu lucrurile ieşite din comun. Noi folosim cri terii diferite ale bunului simţ în viaţa practică sau atunci când apreciem dacă o minune este verosimilă. Toţi se miră de ceea ce face Akopian[17], dar nimeni nu consideră că face minuni. Aceleaşi trucuri produse de un mediu într-o cameră semiobscură sunt ridicate însă la rangul de manifestări supranaturale.

Există obiecte cărora li se atribuie de-a dreptul o exis tenţă semi-mistică: foarfëcile, stilourile, cărţile... Ele dispar de sub ochi cât ai clipi. Şi totuşi, nu există temei pentru care să afirmăm că ne-am confruntat cu forţe supranaturale: mai curând sau mai târziu, obiectele pierdute vor fi găsite.

Dacă ne dispare o carte, nu ne trece prin minte niciun moment că ea s-ar putea să fi trecut într-altă stare, sau că ar fi sustras-o prin forţa voinţei un bibliofil cu puteri extra senzoriale, ori că a împrumutat-o un extraterestru dornic de lectură. N-o să credem pentru nimic în lume că o vază s-a spart „singură” –, în schimb suntem gata să credem că o furcu-i liţă poate fi îndoită prin forţa spiritului. Până şi copiii sunt astăzi mai puţin creduli, iar Carâsson[18], care trăieşte pe acoperiş, a trebuit să-şi facă rost de elice şi motor. Adultul nu crede în Carâsson, dar crede în extraterestrul care răstoarnă un tractor cu o singură mână.

În disputele despre farfuriile zburătoare, pilotate de umanoizi, adepţii extraterestrilor au ajuns să-i învinuiască pe oamenii de ştiinţă că ar nega însăşi existenţa OZN-urilor. Dar specialiştii nici nu se gândesc la aşa ceva. Ei afirmă numai că farfuriile zburătoare sunt fenomene ale opticii atmosferice sau ale electricităţii atmosferice şi că deocamdată nu există nici cel mai mic motiv să le considerăm nave cosmice. Dar cum rămâne cu martorii oculari?

17 Renumit iluzionist sovietic.; — Nota trad$
18s Personaj din povestirile nordice pentru copii. — Nota ir ad«

* Sunt cazuri când nu se poate fără ei. Fulgerul globular n-a fost obţinut în laborator şi deocamdată nu există experimente ştiinţifice în care să i se fi studiat proprietăţile. Deşi nu dispunem decât de informaţiile unor martori, suntem convinşi că fulgerul globular există: mărturiile concordă. Cât despre proprietăţi, ele vor fi clarificate numai după efectuarea unor experimente ştiinţifice.

Descrierea extraterestrilor nu este cu nimic mai prejos decât descrierea stafiilor. După statistica americană, s-ar părea că, de regulă, femeile întâlnesc umanoizi de pe planeta războinicului Marte, iar bărbaţii – umanoide de pe atrăgătoarea Venus.

Juriştii ştiu bine cât de neconcludente sunt adesea relatările martorilor oculari. Iată ce se spune despre Woland în romanul *Maestrul şi Margareta* al lui Mihail Bulgakov: „Ulterior, când, sincer vorbind, era prea târziu, diferite instituţii l-au descris pe omul cu pricina în câte o notiţă informativă, a căror confruntare nu putea să nu trezească uimirea. Astfel, în prima se spunea că omul era mic de stat, avea dinţi de aur şi şchiopăta de piciorul drept. În a doua, dimpotrivă, că era un uriaş, avea coroane de platină şi şchiopăta de piciorul stâng. A treia informa laconic că omul nu avea semne particulare”[19].

Într-una dintre povestirile sale, Anatole France scrie că sub ferestrele istoricului, politicianului şi navigatorului englez din secolul al XVI-lea Walter Rayleigh, care lucra la manuscrisul său intitulat *Istoria universală*, a izbucnit o bătaie. A doua zi, discutând despre eveniment cu prietenul său, care fusese martor şi participant la bătaie, acesta l-a contrazis în privinţa fiecărui amănunt. Deducând de aici că e dificil să te descurci în evenimentele trecutului, dacă până şi cele prezente sunt văzute în mod diferit de diverşi martori, el a aruncat în foc cele scrise până atunci.

În concluzie, relatările martorilor oculari trebuie recepţionate aşa cum merită, ca un izvor de informaţii care necesită o confirmare ştiinţifică şi o verificare ştiinţifică.

Cum se naşte credinţa în supranatural? Una dintre cauze este dorinţa de a vedea o minune, sau măcar de a auzi despre aşa ceva. Din acest motiv, toate cazurile de preziceri izbutite, de fenomene misterioase, de visuri prevestitoare rămân în memorie şi sunt înfrumuseţate, iar cele neizbutite se uită. Se

---

19M ihail Bulgakov, Maestrul şi Margareta, trad. Natalia Radovici, Editura Univers, 1970. — Nota trad.

formează astfel impresia că fenomenele stranii sunt mult mai numeroase decât ar fi în realitate, unde ele sunt numai o urmare a coincidenţelor întâmplătoare.

Dar, s-ar putea ca pricina cea mai importantă a credinţei noastre în minuni să fie neobişnuitele rezerve de posibilităţi ale omului, rezerve care se relevă câteodată sub forma unor capacităţi uimitoare. Există oameni care simt creşterea infimă a temperaturii provocată de trecerea degetelor pe o foaie de hârtie. Este posibil ca această însuşire să explice capacitatea unora de a descoperi locul bolnav, plimbând mâinile pe lângă corp. Se ştie că în zona organului bolnav temperas tura este ceva mai ridicată. Spărgătorii de bănci simt cu vârfurile degetelor cele mai mici impulsuri ale mecanismului caselor de bani şi le dezleagă astfel cifrul. S-ar părea că este imposibil de explicat prin legi naturale ceea ce reuşeşte să facă un echilibrist iscusit. Este uşor să înţelegem că un om sensibil vă ghiceşte dorinţele după cele mai mărunte indicii, de neobservat pentru dumneavoastră şi chiar pentru el însuşi. Un astfel de om este deseori convins că recepţionează nişte informaţii pe cale misterioasă, prin intermediul biocâmpului.

Voinţa hipnotizatorului influenţează comportarea unui alt om – dar se uită în aceste cazuri că ordinul se transmite nu cu ajutorul unor câmpuri supranaturale, ci prin intonaţie, sau prin mişcarea mâinilor. Atunci când se afirmă că o persoană dotată cu calităţi extrasenzoriale a vindecat un bolnav, se presupune de obicei că energia tămăduitorului se transmite prin mâinile sale pacientului. De fapt, nicio cântic tate sensibilă de energie nu poate ieşi prin mâinij aceasta ar contrazice legile fizicii. Dar, prin mişcări de mâini, se poate determina bolnavul să-şi mobilizeze propria energie.

Acestea sunt mecanismele de răspândire ale credinţei în fenomenele supranaturale. În mod asemănător apar şi afirmaţiile antiştiinţifice care alimentează pseudoştiinţa.

Dar până şi un experiment corect nu stabileşte decât nişte fapte. Ştiinţa nu este însă alcătuită numai din fapte, ci şi din relaţiile dintre ele, principalul constând în sistematizarea acestor relaţii cu ajutorul unor modele simplificate în mod conştient. Numai după ce apare un sistem solid de reprezentări – teoria devine posibilă predicţiunea unor noi fenomene. Dar pentru edificarea teoriei este necesar tot atât de mult profesionalism, ca şi pentru efectuarea unui experiment ştiinţific.

Cum se edifică teoriile

Ştiinţele experimentale se dezvoltă cu ajutorul raţionai mentelor plauzibile care se impun să fie verificate ulterior.

Înainte de a porni la vânătoare după fiara necunoscută – Lilifantul prietenul lui Winnie-Pooh[20], purceluşul Guiţ, întreabă:

„Oare vine într-adevăr când îl fluieri? Şi cum vine? Şi, la urma urmei, îi plac purceii? Şi, dacă îi plac purceii, nu face deosebire între purcei şi purcei?”

În acest fel se judecă faptele. Cu aceasta începe teoria. Marele matematician francez Henri Poincaré compara adunarea faptelor disparate cu un morman de pietre din care trebuie să construieşti o casă. Pentru a deţine capacitatea predicţiunii, trebuie ca, pornind de la fapte, să fie conceput un model simplificat sau o teorie a fenomenului. După aceasta, teoria trebuie supusă unei verificări riguroase, îi trebuie probată rezistenţa, aşa cum se încearcă un băţ, îndoindu-l, ca să vezi dacă nu se rupe. Când, chiar la sfârşit, modelul nu rezistă la verificare, trebuie construită o nouă teorie, care să ţină seama şi de faptele care au existat mai înainte, şi de faptele care au apărut pe parcursul verificării.

Atunci când se constată că o teorie elaborată convingător contrazice datele nou apărute, se produce un salt în ştiinţă. Misiunea experimentatorilor este nu numai verificarea teoriei, ci şi căutarea faptelor care pot s-o contrazică.

La fel fac şi măturătorii de stradă cu băltoacele. Deşi apa trece printre nuielele măturii, după câteva repetări ale mişcării, nu mai rămâne din apă nici urmă.”

Cum se nasc şi cum se dezvoltă teoriile? Iată istoria uneia dintre ele, legea atracţiei universale.

Ideea că forţa care obligă planetele să rămână pe traiectorie în jurul

20 Personaje şi situaţii din celebra carte pentru copii a lui A.A. Milne, Winnie ursuleţul, trad. Zoe Dumitrescu-Buşulenga, Editura Ion Creangă, 1973. — Nota trad.

Soarelui şi forţa care determină căderea mărului au aceeaşi natură a fost exprimată de mulţi învăţaţi şi filosofi. Legenda despre căderea mărului care i-ar fi inspirat lui Newton ideea universalităţii gravitaţiei este naivă – această idee circula pe atunci sub diverse forme. Cu mulţi ani înainte de Newton, Johannes Kepler a încercat să arate că, sub influenţa forţei de atracţie a Soarelui, planetele se mişcă pe nişte elipse.

De ce totuşi legea atracţiei universale se numeşte „legea lui Newton”. Este oare drept?

Orice idee generală capătă valoare numai dacă este confirmată de dovezi ştiinţifice, iar cinstea descoperirii aparţine acelora care au contribuit la transformarea ideii într-un adevăr demonstrat. Cât de des uită aceasta inventatorii ideilor generale!

În scrierile vechi, cu caracter metaforic şi echivoc, se poate întrezări ideea expansiunii Universului, fundamentată ştiinţific abia în secolul al XX-lea şi confirmată în mod strălucit o dată cu descoperirea radiaţiei de fond reliete. A avut ideea antică vreun fel de valoare ştiinţifică, a influenţat ea oare apariţia teoriei gravitaţiei a lui Einstein? Desigur că nu. În mulţimea afirmaţiilor tulburi şi întâmplătoare putem surprinde un amănunt care se va confirma prin dezvoltarea ulterioară a ştiinţei.

Newton a fost primul fizician care a transformat ideea generală a gravitaţiei universale într-o teorie fizică pe care experimentul a confirmat-o.

În ce a constat problema? Trebuia explicat de ce planetele se mişcă după nişte elipse care au focarul în Soare şi de ce cuburile razelor orbitelor sunt proporţionale cu pătratele perioadelor de revoluţie. Aceste relaţii – „legile lui Kepler” – au fost găsite prin analiza observaţiilor astronomice şi au rămas neexplicate ani îndelungaţi. Newton a demonstrat că aceste legi sunt consecinţele care decurg din presupunerea că între două mase acţionează o forţă proporţională cu produsul maselor şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre ele.

Dar chiar şi după introducerea forţei gravitaţionale, pentru a obţine o explicaţie cantitativă a mişcării planetelor, a fost nevoie să se înlăture o mulţime de dificultăţi matematice colosale pentru vremea aceea.

Pe lângă traiectoriile eliptice ale planetelor, teoria a explicat şi micile abateri de la această lege de mişcare, provocate de influenţa corpurilor cereşti învecinate. Newton a calculat perturbaţiile mişcării Lunii sub influenţa

Soarelui şi a formulat teoria mareelor, pe care a explicat-o prin atracţia lunară.

Pentru toate acestea, Newton a trebuit să presupună că legile mecanicii, găsite de Galilei pentru corpurile de masă mică şi deplasându-se cu viteze mici, sunt aplicabile şi corpurilor cereşti. Ipoteza s-a confirmat cu o mare precizie, prin nenumărate comparaţii ale predicţiunilor teoriei gravitaţiei cu experimentul.

I în 1687 a apărut cartea lui Newton *Principiile, matematice ale filosof iei naturale*. Acest eveniment poate fi considerat începutul fizicii teoretice.

Newton, ca şi mulţi alţi oameni de ştiinţă ai vremii sale, a încercat să explice gravitaţia prin mişcările eterului. Dar încercările lui s-a-u soldat cu un eşec; a fost nevoie de peste 200 de ani de dezvoltare a fizicii şi matematicii pentru ca să devină posibilă apariţia teoriei lui Einstein care leagă gravitaţia de proprietăţile geometrice ale spaţiului. Conform acestei teorii, legile mecanicii obişnuite sunt încălcate în vecinătatea corpurilor masive şi la viteze mari. Una dintre predicţiunile noii teorii a gravitaţiei a fost amintită mai înainte – este vorba despre mişcarea orbitei lui Mercur. Experienţele au confirmat şi multe alte consecinţe ale teofiei.

Alegerea direcţiei

Spre deosebire de matematică, în ştiinţele experimentale, legile sunt corecte numai cu o anumită probabilitate sau cu o anumită precizie. Dacă o relaţie este bine verificată de experienţă, atunci probabilitatea abaterii de la ea este infimă, iar legea poate fi considerată sigură. Prin ceva sigur înţelegem întotdeauna o afirmaţie a cărei corectitudine are o probabilitate apropiată de unu.

Atunci când spunem că un adevăr bine stabilit se deosebeşte de eroare, am putea adăuga „cu o probabilitate covârşitoare”. Dar ar trebui să repetăm cuvintele respective prea des. Afirmând că „şi mâine va fi o zi”, ar trebui să adăugăm... „dacă, desigur, Pământul nu se va ciocni cu un corp ceresc, sau dacă nu va fi făcut bucăţele de extraterestrii care în ultima vreme s-au înmulţit cam repede”. Probabilitatea ca o locomotivă să deraieze ca urmare a unei lovituri coerente primite de la molecule este comparabilă cu probabilitatea evenimentului despre care amintea Smoluchowski. Noi nici nu luăm în seamă aşa ceva şi ne ocupăm liniştiţi locurile în vagon.

Bunul simţ din viaţa de zi cu zi se conduce după o apreciere rezonabilă a probabilităţii diverselor evenimente.

„Calculatorul nostru psihologic” – intuiţia ia în consideraţie toate motivele posibile, condiţiile şi urmările acţiunilor întreprinse. Înainte de a mângâia un câine necunoscut, noi îi apreciem dispoziţia, mărimea şi greutatea, suntem atenţi să-i observăm urechile, dacă sunt ridicate sau nu, dacă dă din coadă sau dacă se ţine încordat şi acţionăm în funcţie de aceste aprecieri, astfel încât pericolul de a fi muşcaţi se reduce la numai 10-20 de procente.

Zărind într-un gang o persoană care nu se ţine bine pe picioare, facem iarăşi un calcul rapid estimându-i starea, instabilitatea echilibrului şi, dacă ne pricepem cât de cât, putem determina până şi ce anume a băut, şampanie sau băutura suspectă vândută sub numele de „toamna aurie”. După toate acestea, ne căutăm un alt drum, sau trecem liniştiţi pe alături.

Când mergem la piaţă şi-l vedem pe vânzător mânuind neglijent greutăţile şi talerele strâmbe ale cântarului improvizat, trebuie să facem măcar o apreciere aproximativă a canti tăţii şi a costului cumpărăturii.

Într-un caz, „calculatorul” ne poate salva viaţa, în celălalt, ne fereşte de procedeele necinstite.

Bunul simţ şi intuiţia determină alegerea direcţiei căutărilor. Înainte de a căuta în gunoi, trebuie apreciat de cât timp este nevoie şi care sunt şansele de a găsi acolo un mărgăritar. Tocmai de aceea atât de puţini oameni de ştiinţă autentici se ocupă de fenomene atât de improbabile cum ar fi telepatia. Este lipsit de raţiune să depui eforturi mari, dacă, apreciind intuitiv probabilitatea succesului, valoarea obţinută este infimă. Până acum nu există indicii teoretice sau experimentale, cât de cât convingătoare pentru omul de ştiinţă, în favoarea existenţei telepatiei. Altfel, după primul rezultat ştiinţific, în acest domeniu s-ar fi concentrat forţe imense. Aşa trebuie să se dezvolte ştiinţa. În mod intenţionat trecem alături de locurile unde s-ar putea eventual afla comori şi ne îndreptăm spre locurile unde, după aprecierea noastră, probabilitatea unei descoperiri este mai mare. Altminteri, nu ne-ar ajunge forţele pentru progres.

Aprecierea intuitivă a probabilităţii succesului este întotdeauna subiectivă şi necesită multă experienţă ştiinţifică «Până acum, nu s-a reuşit să se găsească, din păcate, nimic mai bun pentru alegerea unei direcţii

rezonabile de cerce tare decât conferinţele ştiinţifice, seminari ile şi discuţiile cu specialiştii.

Iată pe scurt o concluzie a discuţiei noastre despre metoda ştiinţifică de cercetare. Schema cunoaşterii ştiinţifice ar fi următoarea: experimentul, presupunerile de plauzibilitate, ipotezele, teoria – experimentul precizarea, verificarea limitelor de aplicabilitate ale teoriei, apariţia paradoxurilor, teoria, intuiţia – inspiraţia saltul – noile ipoteze şi noua teorie şi iarăşi experimentul…

Metoda ştiinţifică la baza căreia stau obiectivitatea, reproductibilitatea şi deschiderea faţă de nou, constituie o mare cucerire a raţiunii umane. Această metodă s-a dezvoltat şi s-a perfecţionat şi, din condiţia de pierdere minimă de timp şi de idei, a fost aleasă ca fiind cea mai raţională. De peste trei secole, cercetarea foloseşte metoda ştiinţifică de cunoaştere şi în acest fel nu s-a pierdut niciun filon de adevăr.

Riscul de neînlăturat al oricărei dezvoltări este eroarea, dar metoda ştiinţifică de cunoaştere îi conferă ştiinţei stabilir fate, astfel încât erorile sunt repede înlăturate cu forţele ştiinţei însăşi.

Criticii metodei ştiinţifice obişnuiesc să citeze exemple istorice de erori şi dau reţete pentru evitarea lor. Ei sunt ca soţia din anecdotele din Odessa: „Aş vrea să am mintea cea de pe urmă a neveste-mi”.

Instrumentele cunoaşterii frumuseţea nu este capriciul unui semizeu,
Ci măsura din ochi furată de un simplu tâmplar.
O. Mandelştam

Care sunt instrumentele necesare ştiinţei în procesul cunoaşterii? Se înţelege că, înainte de toate, bunul simţ şi legile logicii. Dar, în afară de metodele care decurg din acestea, comune tuturor sferelor de activitate, ştiinţele naturii au dezvoltat şi verificat în practică principii care permit evitarea greşelilor şi scurtarea timpului pe drumul către adevăr. Despre unele dintre ele am amintit; vom insista acum asupra lor.

Conform principiului cauzalităţii, întotdeauna cauza precede efectul. După cum vom vedea, cauzalitatea fenomenelor fizice poate fi realmente verificată experimental.

Orice teorie trebuie să satisfacă principiul corespondenţei: ea trebuie să treacă în teoria anterioară, mai puţin generală, dacă sunt valabile condiţiile în care a fost stabilită teoria anterioară. Principiul corespondenţei reflectă continuitatea ştiinţei despre care am vorbit în paragraful precedent.

Principiul observabilităţii, care a jucat un rol atât de important în dezvoltarea fizicii secolului al XX-lea cere ca în ştiinţă să se introducă numai acele afirmaţii care pot fi supuse unui experiment, fie şi numai mental, sau fie şi numai în principiu. De altfel, după cum vom vedea, principiul observabilităţii nu poate fi aplicat fără anumite rezerve.

În perioada grea a începuturilor mecanicii cuantice, perioadă a disputelor chinuitoare, provocate de contradicţia dintre caracterul probabilist al predicţiunilor noii teorii şi cauzar litatea univocă a fizicii clasice, Niels Bohr a introdus principiul complementarităţii, conform căruia anumite noţiuni sunt reciproc incompatibile şi trebuie deci să fie interpretate numai prin prisma completării reciproce. De exemplu, măsurarea coordonatelor unei particule face ca noţiunea de viteză să devină nedeterminată. Ideea complementarităţii permite să se înţeleagă şi să se concilieze diferite entităţi contradictorii, cum ar fi legităţile fizice şi dezvoltarea direcţionată a obiectelor vii.

Un dicton spune: „Natura non facit saltus” (Natura nu face salturi). Aceasta înseamnă că mărimile care se întâlnesc în natură sunt funcţii continue de alte mărimi. Salturile întâlnite în teorii sunt rezultatul idealizării raţionale a proceselor; de fapt, salturile, chiar şi cele mici sunt, într-o măsură oarecare, atenuate. Un întreg domeniu din fizica teoretică, care se ocupă de studierea aşa-numitelor „proprietăţi analitice” ale mărimilor fizice, este legat de acest caracter al funcţiilor fizice.

Aşa cum vom vedea, claritatea este şi ea o caracteristică necesară a teoriei ştiinţifice. În fizică claritatea se exprimă cu simetria legilor naturii, ca de exemplu, invariabilitatea ecuaţiilor electrodinamicii la trecerea lor într-un sistem de coordonate aflat în mişcare, sau la schimbarea semnului timpului. Vom consacra proprietăţilor de simetrie un întreg capitol; vom vedea că fiecărui tip de simetrie îi corespunde o lege proprie de conservare.

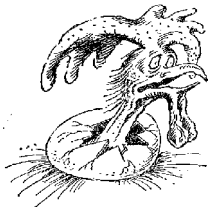
Legile de conservare ne dau posibilitatea să verificăm corectitudinea rezultatelor. Este suficient să stabilim că în teoria propusă se încalcă o simetrie bine stabilită şi acest fapt devine sursa unor îndoieli justificate în ceea ce priveşte corectitudinea teoriei. Astfel, legea conservării energiei, care

este o consecinţă a omogenităţii timpului, reprezintă o proprietate generală a naturii, foarte bine verificată experimental. Atunci când ne confruntăm cu o încălcare a legii conservării energiei în vreo construcţie teoretică, aceasta din urmă este considerată eronată. Astfel de judecăţi i-au permis Academiei franceze să decidă respingerea fără examinare a oricărui proiect de „perpetuum mobile”. În capitolul următor, în paragraful *Secretele, meseriei*, vom vedea că, folosind legile simetriei, se poate descoperi dintr-o dată greşeala de raţior nament.

Să examinăm mai atent principiile cauzalităţii, observabilităţii şi complementarităţii.

Ce-a fost mai întâi, oul sau găina?

Ce a fost întâi, cauza sau efectül? Experienţa de fiecare zi ne oferă un răspuns univoc la această întrebare, dar putem să dăm crezare acestei experienţe? Cum se poate face o verificare serioasă? Oricât ar părea de ciudat la prima vedere, îndoiala este legitimă şi verificarea se poate face. Într-adevăr, cauza precede efectul. Dar la întrebarea din titlu nu se poate răspunde.



Dacă lumina este difuzată de un corp oarecare, unda difuzată este produsă de unda incidenţă. Dacă unda incidenţă are forma unui scurt impuls, atunci şi unda difuzată are o formă asemănătoare. Dacă există cauzalitate, atunci efectul trebuie să se manifeste după cauză, iar frontul undei difur zate trebuie să fie deplasat faţă de frontul incident. De aici, printr-un raţionament riguros matematic, se deduce că intensitatea undei difuzate trebuie să fie legată printr-o relaţie simplă de capacitatea de absorbţie a corpului respectiv. O astfel de legătură se numeşte „relaţie de dispersie”. În loc de a verifica deplasarea frontului de undă, se poate controla modul în care este satisfăcută relaţia de dispersie. Şi această legătură s-a demonstrat experimental. În limitele erorilor experimentale, nu s-a decelat nicio încălcare a cauzalităţii: întotdeauna efectul a apărut după cauză. Faptul că verificarea s-a putut efectua demonstrează legitimitatea logică a îndoielii. Fiecare afirmaţie cu conţinut semnificativ poate fi confirmată sau respinsă, în această verificare

constând valoarea ei cognitivă. Numai adevărurile elementare nu necesită verificări.

Mai există o verificare, la prima vedere inutilă. Dacă un eveniment duce, cu anumite probabilităţi, la mai multe consecinţe, atunci Suma tuturor probabilităţilor trebuie să fie egală cu unu, ceea ce înseamnă că un fenomen tot trebuie să se producă. În mecanica cuantică, situaţia de mai sus se prezintă ceva mai complicat. Acolo se însumează nu proba bilităţile, ci amplitudinile funcţiei de undă, al căror pătrat dă probabilitatea. În general, se însumează rădăcinile pătrate ale probabilităţilor. Dar şi în acest caz trebuie să se respecte cerinţa ca probabilitatea tuturor evenimentelor să fie egală cu unitatea. De aici decurge o relaţie determinată între mărimile observabile, care se poate verifica experimental. Această relaţie se numeşte „unitaritate”. Dacă cerinţa unitarităţii ar fi încălcată, ar rezulta fie inconsistenţa teoriei, fie necesitatea adâncirii noţiunii de probabilitate. Dar, până acum n-am ïost confruntaţi niciodată cu încălcarea unitarităţii.

Să nu violentăm natura, ev *s-o întrebăm*

Pericolul folosirii unor noţiuni preluate necritic, bazate numai pe experienţa cotidiană, devenise clar încă pentru Galilei, care, în „*Dialog*” îndeamnă la „mai puţină încredere în ceea ce ne oferă la prima vedere simţurile, care ne pot uşor induce în eroare… Este mai bine… să încercăm sau să confirmăm o presupunere, sau să-i dezvăluim caracterul înşelător”.

La începutul secolului al XX-lea, acest îndemn s-a transa format în cerinţa observabilităţii noţiunilor introduse în fizică. În 1905, formulând teoria relativităţii, Einstein a început prin a analiza conceptul de simultaneitate. Această noţiune fusese introdusă în ştiinţă în mod intuitiv, fără să se fi indicat, fie şi numai în principiu, vreun mijloc posibil de verificare. Einstein şi-a propus să clarifice dacă noţiunea de simultaneitate este relativă, adică dacă se modifică prin trecerea la un sistem mobil de coordonate. Coincid oare noţiunile de simultaneitate pentru doi observatori, unul aflat în repaus faţă de Pământ, şi altul mişcându-se uniform faţă de primul?

Pentru a răspunde la această întrebare, trebuia indicat un mijloc de definire fizică a simultaneităţii. Einstein a propus următorul experiment: două semnale luminoase emise în punctele A şi B se consideră simultane, dacă lumina ajunge simultan într-un punct situat la jumătatea distanţei dintre A şi B. Din această definiţie rezultă că evenimentele simultane pentru un observator nemişcat nu sunt simultane pentru un observator care se mişcă în raport cu platforma pe care sunt fixate punctele A şi B. Într-adevăr, să presupunem că platforma se mişcă faţă de noi în sensul de la A spre B. Dacă în punctul de la jumătatea distanţei dintre A şi B, ambele semnale s-au recepţionat simultan, atunci observatorul de pe platformă va spune că semnalele din A şi B au fost simultane, în timp ce observatorul imobil va considera că unul dintre semnale a fost emis mai târziu, întrucât punctul din mijloc se mişcă în întâmpinarea luminii, iar semnalul din B trebuie să parcurgă până la punctul din mijloc o distanţă mai scurtă decât cel din A.

Aşadar, simultaneitatea este o noţiune relativă. Dar dacă lucrurile stau astfel, lungimea unei bare devine relativă, întrucât pentru a o măsura, este nevoie să se stabilească în mod simultan poziţiile capetelor barei. Atunci când măsurătoarea va fi efectuată de un fizician care se află pe platformă, observatorul nemişcat va vedea că fizicianul nu măsoară simultan cele două capete ale barei. Valoarea lungimii găsite de observatorul imobil se va deosebi deci de valoarea determinată de observatorul mobil.

În esenţă, întreaga teorie a relativităţii restrinse apare ca rezultat al aplicării consecvente a principiului observabilităţii. Unica presupunere pe care se bazează deducţiile este independenţa vitezei luminii faţă de deplasarea sursei, dar acest principiu decurge din ecuaţiile lui Maxwell şi a fost verificat experimental cu mare precizie de Albert Michelson în 1881. Nişte calcule algebrice simple l-au dus pe Einstein la explicarea contracţiei lorentziene: un obiect de lungime 10 care se deplasează cu viteza v se scurtează pe direcţia mişcării în raportul 1 10 /l – v2/c2, unde 10 este

lungimea de repaus. La Lorentz această contracţie se obţinea dintr-un calcul complicat al forţelor electrodinamice care acţionează între două sarcini electrice aflate în mişcare, dar rezultatul lui Einstein este general şi independent de constituţia corpurilor, fiind un rezultat al proprietăţilor spaţiului şi timpului, comune tuturor fenomenelor. Într-un mod analog, în sistemele de referinţă aflate în mişcare, intervalul de timp t se lungeşte în raport cu intervalul t0 dintre aceleaşi evenimente, măsurate în sistemul aflat în répaus, după formula t t0/ /l v2/c2. Această formulă a fost verificată experimental cu o mare precizie. Timpul de viaţă al pionului care se deplasează cu viteză mare este mai mare decât timpul de viaţă al pionului aflat în repaus.

În cazul corpurilor care se mişcă cu viteză mai mică decât cea a luminii, corecţiile aduse de aceste relaţii sunt infime»

Din formulele de mai sus se vede că viteza corpurilor materiale nu poate depăşi viteza luminii.

În mecanica newtoniană se consideră că timpul curge uniform pentru toţi observatorii. Legătura dintre coordonatele şi timpul dintr-un sistem mobil şi aceleaşi mărimi dintr: un sistem aflat în repaus era x’ x vi şi t’ t. Această relaţie trebuie acum schimbată; ea arată astfel: x’ y (x’ vi), unde y este un coeficient care tinde spre unu atunci când viteza este mică. Întrucât observatorii se deosebesc unul faţă de altul numai prin semnul vitezei, atunci mai există şi relaţia: x y (x’ ’-vt’). Mărimea y se obţine dintr-o dată, punând condiţia ca viteza luminii să fie aceeaşi în ambele sisteme, ceea ce înseamnă că, la x d, să obţinem x’ d’. De aici rezultă imediat y l//l v2/c2 şi, în afară de aceasta, tot de aici, mai rezultă şi relaţiile pentru contracţia lungimilor şi dilatarea timpului prezentate mai sus. Le propun cititorilor să obţină şi ei aceste rezultate.

Deseori se spune că toate lucrurile geniale sunt simple. Din păcate, această afirmaţie nu-i nici pe departe adevărată. Teoria relativităţii restrinse este singura dintre teoriile secolului al XX-lea care are un arsenal de mijloace tehnice simple. Toate dificultăţile rezidă în ideea de bază. Teoriile ulterioare nu numai că sunt complicate ca idee, ci necesită pentru formularea lor şi un aparat matematic complicat. Astfel, teoria relativităţii generale, mecanica cuantică, electrodinamica cuantică şi teoria particulelor elementare nu pot fi date drept exemplificări ale ideii că „toate lucrurile geniale sunt simple”.

Principiul observabilităţii a jucat un rol enorm în apariţia mecanicii cuantice, şi mai ales în analiza sensului ei fizic. Werner Heisenberg a supus verificării observabilitatea unor noţiuni cum ar fi coordonata şi viteza, elaborând experir mente mentale care folosesc la definiţia fiecăruia. S-a clarificat faptul că este principal imposibil să se măsoare simultan exact coordonatele şi viteza: orice act imaginabil de măsurare a coordonatei are un efect imprevizibil şi face ca valoarea impulsului particulei să devină nedeterminată (vezi p. 173).

Se poate oare pretinde ca în ştiinţă să se opereze numai cu mărimi direct observabile? În 1925, la formularea mecanicii matriciale, Heisenberg a adoptat un astfel de principiu. O altă cale este mecanica ondulatorie a lui Schrödinger (1925), în cadrul căreia o asemenea problemă nu există. În teorie s-a introdus funcţia de undă, imposibil de măsurat direct din experiment şi care conţine chiar caracteristici nemăsurabile. În 1926, Erwin Schrödinger a demonstrat echivalenţa celor două formulări ale mecanicii cuantice. Mai mult, formularea lui Schrödinger s-a dovedit mult mai comodă. O situaţie asemănătoare existase şi în fizica clasică: ecuaţiile electrodinamicii se rezolvă mai uşor dacă se introduce potenţialul-vector, mărime care nu se poate măsura experimental.

Dezvoltarea ulterioară a fizicii teoretice a demonstrat avantajul principial al unei oarecare libertăţi în introducerea noţiunilor.

Este instructivă istoria aşa-numitei matrice S (matricea de difuzie). Matricea S, propusă de Heisenberg în 1943, reprezintă un mijloc de a scrie în formă compactă toate rezultatele experimentelor posibile pentru studierea unui sistem. Pentru descrierea unui sistem fizic este necesar să se afle amplitudinile de împrăştiere ale tuturor particulelor posibile care interacţionează cu sistemul. Toate amplitudinile sunt conţinute în matricea S, astfel încât introducerea noii noţiuni a permis să se obţină multe relaţii importante. Succesul ’metodei matricei S a dus în anii ’50 la ideea scrierii unor ecuaţii pentru matricea de difuzie, care să lege între ele toate amplitudinile de difuzie posibile, elaborându-se astfel teoria particulelor elementare fără vreun apel la structura lor internă, ci doar legând nemijlocit între ele toate datele experimentului.

Dacă este permis să se folosească epitetul de „dăunătoare” pentru o idee fizică aparent raţională, atunci, în cazul de faţă calificativul este la locul

lui. Această idee i-a abătut pe mulţi oameni talentaţi de la direcţii mult mai productive. De fapt, stagnările sunt inevitabile, întrucât ştiinţa nu se dezr voltă în linie dreaptă.

Deoarece matricea S se ocupă numai de comportarea particulelor aflate la distanţă mare una de cealaltă, unde pot fi observate numai izolat, se subînţelege că ea nu poate pune în evidenţă astfel de particule cum sunt quarcii (vezi p. 149), care nu există niciodată în stare izolată.

Dar, fără a pătrunde în mecanismul interacţiunii particu lelor elementare şi al câmpurilor la distanţe mici, este impœ sibil să se construiască o teorie raţională. Din acest motiv, încercarea de a construi un sistem complet de ecuaţii pentru matricea de împrăştiere a eşuat. Succesele recente ale teoriei particulelor elementare se sprijină pe teoria cuantică a câmpului, care studiază interacţiunea câmpurilor şi particug ielor atât la distanţe mici, cât şi la distanţe mari, fără a face apel la matricea S.

Cerinţa observabilităţii, urmată „ad litteram-, s-a dovedit prea restrictivă pentru fizica zilelor noastre.

„*Numai deplinul naşte claritatea, dar adevărul* se *ascunde în întuneric*" (Fr. Schiller)

După cum povesteşte Leon Rosenfeld, care i-a fost cola borator apropiat, Niels Bohr a fost influenţat de filosoful şi scriitorul danez, Sören Kirkegaard. Poate că aici se află sursa acelei forme neaşteptate de dialectică atât de caracteristică lui Niels Bohr. El obişnuia să spună: „Fiecare judecată emisă de mine trebuie înţeleasă nu ca o afirmaţie, ci mai ales ca o întrebare". Sau „Există două tipuri de adevăruri: unul elementar, pe care este stupid să-l contrazici şi altul, profund, pentru care, afirmaţia opusă este şi ea un adevăr profund". Această idee se poate formula mai puţin categoric: conţinutul unei afirmaţii se verifică prin faptul că aceasta poate fi respinsă.

Principiul complementarităţii, fla care ne vom referi acum reprezintă apogeul dialecticii lui Bohr.

La începutul anului 1927, s-au petrecut două evenimente importante: Werner Heisenberg a obţinut relaţiile de incer-3 titudine, iar Niels Bohr a formulat principiul complementari-, tăţii.

Analizând toate experimentele mentale posibile de măsurare a coordonatelor şi vitezei particulelor, Heisenberg a ajuns la concluzia că măsurarea lor simultană este limitată şi anume: cu cât măsurăm mai exact

coordonata electronului (iradiindu-l, de exemplu cu lumină având lungimi scurte de undă) cu atât mai puţin determinată devine viteza lui, din cauza reculului nedeterminat pe care îl suferă electronul la interacţiunea sa cu unda. Formula obţinută de Heisenberg este atât de simplă, încât poate fi reprodusă aici: Aqap h. În partea dreaptă se află constanta lui Planck, iar în stînga, nedeterminarea coordonatei, înmulţită cu nedeterminarea impulsului particulei. N-am folosit aici întâmplător cuvântul „nedeterminare". Nu-i vorba nici de greşeală, nici de neştiinţă, ci exact de nedeterminare. Conform principiului observabilităţii, imposibilitatea principială a măsurării are drept consecinţă nedeterminarea noţiunii respective.

Determinarea, exactă a coordonatei face impulsul complet nedeterminat. Aceste două noţiuni se limitează şi se completează reciproc. După Bohr, relaţia de nedeterminare a lui Heisenberg este o manifestare a principiului complementari tăţii (vezi p. 173).

Ca orice judecată foarte generală, cuvintele lui Hegel despre unitatea şi lupta contrariilor pot să ni se pară locuri comune din cauza repetării lor foarte frecvente. Ideea lui Bohr cu privire la noţiunile complementare reprezintă o nouă aplicare a gândirii hegeliene. Complementaritatea permite să se împace lucruri aparent ireconciliabile: electronul se comportă în diferite experimente fie ca particulă, fie ca undă...

Particula şi unda, iată două laturi complementare ale unei singure entităţi. Nu se poate evidenţia vreuna dintre aceste două caracteristici în dauna celeilalte. Mecanica cuantică realizează sinteza acestor două noţiuni, întrucât ea permite precizarea rezultatului oricărui experiment în care se manifestă atât proprietăţile corpusculare, cât şi cele ondulatorii ale* particulelor.

Niels Bohr a ilustrat şi a aplicat ideea complementarităţii în multe domenii.

Legităţile biologice se reduc oare la procesele fizico-chimice? S-ar părea că toate procesele biologice sunt determinate de mişcarea particulelor care alcătuiesc materia vie. Conform acestei concepţii „fiziologia este de fapt chimia fizică a coloizilor cu conţinut de azot". Dar este clar că această concepţie denumită deseori „mecanicistă", reflectă numai o latură a problemei. Cealaltă latură, mai importantă, este reprezentată de legităţile materiei vii, care, deşi sunt determinate de legile fizicii şi ale chimiei, nu se

reduc la acestea din urmă. Procesele biologice se caracterizează prin finalitate. Această legitate răspunde la întrebarea „în ce scop”, în timp ce fizica răspunde la întrebarea „de ce?”

Există şi o altă extremă: vitaliştii consideră esenţiale numai legităţile biologice, negând şi ignorând latura fizicochimică a proceselor. Înţelegerea corectă a biologiei este posibilă numai pe baza complementarităţii cauzalităţii fizicoçhimice şi a finalităţii biologice obiective. După opinia lui J. Holton, Niels Bohr, gândind la aceste lucruri, şi-ar fi îndeplinit o datorie filială: tatăl său, fiziologul Christian Bohr susţinuse punctul de vedere vitalist. Noţiunea de complementaritate pune în evidenţă unilateralitatea ambelor puncte de vedere şi permite construirea unei imagini a proceselor vii pe baza unor abordări care se completează reciproc.

O descriere completă a naturii este posibilă numai pe baza înţelegerii complementarităţii noţiunilor. Se pot da multe exemple de complementaritate. Astfel, tabloul fizic al unui fenomen şi descrierea lui matematică sunt complementare. Alcătuirea tabloului fizic cere neglijarea detaliilor şi se depărtează de precizia matematică. Şi invers – încercarea de a descrie matematic exact fenomenele îngreunează înţelegerea lor.

Iată încă un exemplu. În articolul *Miturilepopoarelor lumii* din enciclopedie, S. Averinţev scrie „Satana se împotriveşte lui Dumnezeu… ca o creaţie eşuată a Domnului şi ca un subiect răzvrătit contra puterii sale; el poate să-i opună cel mult forţa obţinută de la creatorul său, contribuind la urma urmei, împotriva propriei voinţe, la împlinirea gândului divin…” Mefisto al lui Goethe spune: „Eu sunt cel ce veşnic doreşte răul şi care veşnic face doar binele”.

Bohr a afirmat cândva: „Nu se poate privi simultan şi cu ochii iubirii şi cu ochii dreptăţii” ’, frază prin care înţelegea că nu era capabil să-şi pedepsească fiul, care făcuse o greşeală. La întrebarea: „Care este complementarul noţiunii de adevăr?”, Bohr a răspuns: „Claritatea”.

Acesta este şi înţelesul cuvintelor lui Schiller care au fost alese drept motto.

Erorile

Prefer adevărul dăunător greşelii folositoare, căci adevărul îndreaptă singur răul pe care l-a pricinuit.

J. W. Goethe

Când un sistem de erori este prezentat sub forma unei teorii ştiinţifice, sistemul respectiv este denumit pseudoştiinţă.' Din păcate, acest cuvânt a fost deseori întrebuinţat de pseudosavanţii care ponegreau cuceriri ştiinţifice autentice, şi care au încercat să lipească eticheta de pseudoştiinţă ciberneticii, biologiei moleculare, geneticii sau teoriei relativităţii, dar cum alt cuvânt n-a fost încă născocit – vrem, nu vrem – trebuie să-l folosim şi noi.

Cum se poate stabili care este ştiinţa şi care este pseudoştiinţa, mai ales atunci când adevărurile sunt încă incomplet fundamentate? Căci adevărul este unul singur, iar erorile sunt nenumărate. O clasificare a tuturor tipurilor de pseudoştiinţă este dificilă şi lipsită de interes, de aceea ajunge să-i trasăm o linie de demarcaţie faţă de ştiinţă şi să îi enumerăm caracteristicile.

„Neştiinţa nu-i o dovadă, ignoranţa nu-i un argument (Spinoza)

Ce este pseudoştiinţa? Tot ceea ce contrazice reprezentările ştiinţei de astăzi este pseudoştiinţă? Nicidecum! Tocmai lucrările care demonstrează convingător caracterul contradictoriu al modelelor curent adoptate pot duce la o revoluţie ştiinţifică. Lucrările de acest tip, chiar nefinisate, provoacă discuţii şi incită la continuarea cercetărilor.

Astfel, legea simetriei la reflexie a fenomenelor naturale a fost confirmată de multe experimente şi a intrat în mod ferm în reprezentările fizicienilor. Experimentele pentru verificarea acestei legi, presupusă exactă, n-au fost, desigur, niciun moment considerate ca ţinând de pseudoştiinţă, iar ca urmare, a fost făcută o descoperire de cea mai mare importanţă: s-a constatat că în dezintegrarea beta legea simetriei la reflexie este încălcată.

Trebuie oare considerate pseudoştiinţifice lucrările bazate pe presupuneri care, în urma unor cercetări ulterioare, se dovedesc nefondate? Desigur că nu. Confirmarea presupunerilor nu constituie unicul criteriu al valorii ştiinţifice. Şi rezultatul negativ oferă o informaţie importantă – prin faptul că elimină una dintre posibilităţi.

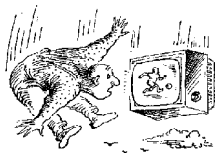
Pseudoştiinţa este încercarea de a demonstra o afirmaţie folosind metode neştiinţifice, procedeul cel mai frecvent fiind emiterea de concluzii dintr-un singur experiment nerepetabil şi echivoc, sau edificarea de teorii

bazate pe presupuneri care contravin unor fapte bine stabilite.

Cum pot fi calificate lucrările ştiinţifice neterminate, care nu stabilesc adevărul, ci doar îl sugerează? Ele necesită, în continuare, o verificare cu metode ştiinţifice. Dacă o astfel de verificare nu are loc şi lucrarea este comunicată ca o cercetare încheiată, ea poate fi calificată pseudoştiinţifică.

Neînţelegerea faptului că rezultatul ştiinţific se dobân deşte numai printr-un proces chinuitor de creaţie, exagerarea valorii lucrărilor neterminate, tendinţa de a înlocui cu presupuneri ceea ce nu a fost finalizat – toate acestea duc în cele din urmă la pseudoştiinţă.

Aristotel a afirmat că obiectele grele cad mai repede decât cele uşoare. El considera că acest lucru este evident şi deci nu trebuie demonstrat. Autoritatea sa era atât de mare, încât au trebuit să treacă mai mult de cincisprezece secole până când această afirmaţie să fie respinsă. Analizând experimentele făcute cu planul înclinat, Galilei a ajuns la concluzia că toate corpurile terestre cad cu aceeaşi acceleraţie. Experimentele care îl contraziceau pe Aristotel constituiau nu numai un act de curaj ştiinţific, dar şi un act de curaj civic, întrucât autoritatea lui Aristotel era apărată de către Biserică. Experimentul a devenit însă arbitrul definitiv al adevărului.



Când naturii i se impun idei speculative se fac erori. Acesta este unul din rarele cazuri în care ştiinţa se interferează cu pseudoştiinţă. De obicei însă lucrurile se petrec mai simplu şi mai brutal: o idee vagă este proclamată drept adevăr stabil, fenomenele care o contrazic sunt trecute sub tăcere, iar toate dovezile favorabile sunt trâmbiţate cu ostentaţie.

Redau descrierea unui experiment dintr-o lucrare care demonstrează apariţia spontană a vieţii. Experimentul respectiv a fost ridicat de pseudosavanţi la rangul de descoperire de nivel mondial: „20 de hidre au fost pisate în mojar, apoi în pasta obţinută au fost adăugate 8 picături de apă de robinet, saturată cu ajutorul unui curent de aer… După o oră, au apărut puncte strălucitoare, de mărimea unui vârf de ac… din care s-au dezvoltat corpusculi sferici – coacervatele… Comportarea sferulelor şi dezvoltarea lor demonstrează o activitate tipică vieţii. Ele sunt vii”. Comentariile sunt inutile.

Iată încă un exemplu, luat, din păcate, dintr-o revistă de popularizare a ştiinţei:…” acum trei sute de ani fizica era dedusă cu predilecţie din biologie (se considera, de exemplu, că un cristal creşte dintr-o sămânfă)[21]. Asistăm astăzi la o renaştere a acestui mod de gândire: unii dintre fizicieni vorbesc acum despre parapsihologia atomilor”.

După câte ştiu, niciun fizician cu psihicul normal, şi care se ocupă de ştiinţă, nu vorbeşte nici despre parapsihologia atomului, nici despre sexualitatea moleculelor biato mice şi nici despre schizofrenia nucleelor care se dezintegrează.

Discuţiile despre transformarea unei pseudoştiinţe în ştiinţă şi invers apar din cauza confuziei dintre noţiuni; eticheta de pseudoştiinţă se pune fie erorilor, fie căutărilor de fenomene neaşteptate. Erorile sunt de neînlăturat în ştiinţă, dar ele singure nu generează pseudoştiinţă, după cum nici căutările’ eşuate ale lucrurilor ieşite din comun nu duc la pseudoştiinţă, cu condiţia ca şi unele şi altele să apară şi să fie înlăturate în procesul cunoaşterii prin metode ştiinţifice.

După definiţia noastră, nici căutarea „pietrei filosofale”, care transformă toate pietrele obişnuite în aur, nu se poate considera necondiţionat ca fiind pseudoştiinţifică, întrucât această idee nu contrazicea datele ştiinţifice ale evului mediu. Alchimiştii care efectuau experimente reproductible contribuiau efectiv la cunoaşterea naturii.

— *Nu prea e de crezut să fie şoareci pe spinarea calului. Nu prea o fi de creziit – chibzui Cavalerul – dar dacă totuşi s-ar rătăci vreunul…* (L. Carrol)

Din păcate, există cazuri în care unii oameni de ştiinţă cu convingeri dogmatice proclamă drept pseudoştiinţă cercetările oneste întreprinse în căutarea unor fenomene neaşteptate, adică a unor evenimente care contrazic reprezentările obişnuite (dar nu şi faptele stabilite!).

Ar fi foarte bine dacă nişte experimentatori serioşi ar studia fără prejudecăţi un fenomen ca telepatia. Cercetaţi, întreprindeţi experimente, dar numai experimente ştiinţifice, respectând toate regulile adoptate de ştiinţă încă de pe timpul lui Francis Bacon. Un impuls pentru generarea ideii noi se poate obţine şi de la relatările martorilor, şi din credinţele oamenilor, şi de la

---

21 în anumite condiţii, cristalizarea are loc numai dacă în soluţie este prezentă o impuritate, sau dacă se introduce un mic cristal.

— Nota traci.

zvonuri, şi din asociaţii neaşteptate, dar de la idee la adevăr este o cale atât de lungă, încât din sute de idei, abia dacă va supravieţui una singură.

Se înţelege că nu ajunge numai dorinţa de a demonstra ceva neverosimil. Mai întâi este necesar să se formuleze clar problema de cercetat, apoi trebuie găsită şi elaborată o metodă de studiu suficient de convingătoare, care să permită demonstrarea fenomenului.

În jurul organismelor vii există timpuri fizice: electric, luminos, sonor, care sunt destul de bine studiate. Astfel, măsurând timpul electric care variază se poate obţine o cardiogramă chiar fără a atinge corpul. Aceste timpuri scad repede la distanţă, astfel încât la câţiva metri nu se mai pot deosebi de câmpurile întâmplătoare, de „zgomote'Câmpurile fizice radiate de om nu pot explica fenomene cum ar fi transmiterea gândurilor sau a reprezentărilor la distanţe mari. Nu se poate, în acest caz, presupune că în afară de câmpurile cunoscute, există şi alte timpuri fizice încă nedescoperite?

Toate câmpurile cât de cât observabile din domeniile de energie şi frecvenţă care ne interesează şi care acţionează asupra dispozitivelor fizice au fost exhaustiv studiate. Dacă, de exemplu, asupra unui electron dintr-un accelerator ar acţiona şi un alt câmp oarecare, atunci mişcarea electronului s-ar abate de la mişcarea calculată, ceea ce în experimente nu se întâmplă niciodată. Probabilitatea de a descoperi în domeniul macroscopic un câmp fizic de o natură nouă, încă necunoscută, este atât de mică, încât nu mertă să fie luată în considerare.

Dar n-ar putea exista oare nişte timpuri nefizice care ar fi emise şi recepţionate de organismele vii şi care ar da dreptul la existenţă unui fenomen miraculos ca telepatia? Nu există oare un „biotimp" în jurul organismelor vii? Desigur că un astfel de câmp n-ar putea explica mişcarea prin forţa spiritului a obiectelor neînsufleţite, sau micşorarea greutăţii lor. Aceste fenomene contrazic pur şi simplu legile ferm stabilite ale fizicii. Este clar că în niciun experiment fizic corect dorinţa experimentatorului n-a influenţat rezultatul măsurătorilor, deşi fizicienii lucrează cu obiecte extrem de uşoare şi foarte mobile. Până şi cele mai modeste capacităţi de a modifica greutatea ar face imposibilă o măsurătoare atât de simplă cum este cântărirea la balanţa analitică. La greutăţi egale, după dorinţa experimentatorului, unul dintre talere ar fi atârnat mai greu. Cum a fost posibil oare, ca fizicienii, care au măsurat forţa de greutate cu o precizie de până la o miliardime de gram, să

nu observe o încălcare grosolană a legilor gravitaţiei? Analiza amănunţită a câştigurilor la ruletă nu indică nicio abatere de la teoria probabilităţilor. Ar fi suficient ca o persoană cu calităţi extrasenzoriale să se ocupe un timp cu deplasarea bilei şi toate calculele de probabilitate ale câştigului s-ar dovedi incorecte.

Am lăsat deoparte cauzele pur fizice ale deplasării obiectelor uşoare, care se iau întotdeauna în consideraţie în experimentele fizice, spre exemplu presiunea ultrasunetelor emise de un obiect viu. Astfel de fenomene ţin de biofizică şi nu au nimic în comun cu lumea supranaturală care îi emoţionează atât de mult pe oamenii nefamiliarizaţi cu ştiinţele naturii.

Existenţa biocâmpurilor, adică a unor câmpuri care nu s-ar reduce la câmpurile fizice cunoscute şi care, prin urmare, nu sunt înregistrate de aparatele fizice obişnuite, este respinsă de ansamblul cunoştinţelor biofizicii contemporane. Până în momentul de faţă nu există niciun fel de manifestări ale biocâmpului care să fi fost confirmate prin experimente ştiinţifice. Totuşi, lucrările prin care se caută biocâmpul cu metode ştiinţifice ar constitui cercetări importante, chiar dacă s-ar solda cu un rezultat negativ. Vom examina acum procedeele pe care le foloseşte pseudoştiinţa.

„Atârnaţi de undiţă cârlig-minciuna, şi-nfigeţi adevărul drept momeală…” (W. Shakespeare)

Pseudoştiinţa are trăsături persistente, aproape imuabile. Una dintre ele este intoleranţa faţă de dovezile cu voaloare probatorie negativă.

La aceasta trebuie adăugate pretenţiile şi patosul incult. Pseudosavantul nu agreează amănuntele, el rezolvă numai problemele globale şi, pe cât posibil, pe cele care desfiinţează ştiinţa existentă. De regulă, un astfel de personaj n-a avut niciodată lucrări modeste. El însuşi n-are îndoieli, singura lui problemă fiind să-i convingă pe specialiştii obtuzi că spusele sale sunt evidente. Aproape întotdeauna, el promite aplicaţii practice numeroase şi imediate chiar în domenii în care aşa ceva este imposibil. În rest, aproape fără excepţie, este vorba numai de ignoranţă şi antiprofesionalism, evidente oricărui specialist serios.

Şi, în final, să menţionăm agresivitatea.

Pentru a-şi demonstra afirmaţiile, pseudoştiinţă uzează de orice mijloace. Este posibil şi chiar necesar să se protesteze împotriva aprecierii nedrepte a unei lucrări, dar, pentru influenţarea opiniei publice trebuie

folosite metodele acceptate de ştiinţă. Nu pot fi luate în serios plângerile privind aşazisele persecuţii împotriva pseudoştiinţei. În toate epocile, pseudoştiinţă a fost aceea care a persecutat ştiinţa şi a afirma contrariul constituie o lipsă de respect faţă de jertfele pseudoştiinţei, începând cu Galilei.

Articolele care combat metoda ştiinţifică de cunoaştere sunt de rea-credinţă, agresive şi pline de pretenţii.

„Vrei să-ţi argumentez imediat... că ai gene albe numai din cauză că biserica Ioan cel Mare are o înălţime de treizeci şi cinci de stânjeni? Am să-ţi argumentez limpede, exact, progresist, ba chiar cu o nuanţă liberală!”[22] Aşa îi striga, cuprins de înflăcărare polemică, Razumihin lui Porfiri în *Crimă şi pedeapsă*. Adică se poate demonstra că negru-i alb şi albu-i negru? Să-l rugăm pe un Critic imaginar al metodei ştiinţifice să-şi dezvăluie procedeele.

Iată un procedeu simplu şi eficace: se rupe o frază dintr-un context, se goleşte de sens, sau i se atribuie un sens. Opus, devenind astfel uşor obiect al criticii. Rar se va găsi un cititor atât de meticulos încât să verifice citatele: în general se consideră că asta a făcut redactorul.

Un alt procedeu poate fi numit „apasă pe clapa vecină”, în locul unei afirmaţii îndoielnice, se introduce alta, foarte apropiată în conţinut, dar certă, creându-se astfel impresia că e vorba despre o discuţie în contradictoriu privind lucruri indiscutabile.

De la Criticul nostru se pot auzi judecăţi prin care se încearcă acreditarea valorii ştiinţifice a pseudoştiinţei. Ele sună cam aşa: „Ori trebuie să se renunţe la termenul de «pseudoştiinţă» şi la termenii asemănători, ori trebuie să, se recunoască pseudoştiinţa ca un fenomen de cultură cu aceeaşi valoare ca ştiinţa obişnuită, predată în şcoală”. Nimeni, nu are de obiectat la afirmaţia că pseudoştiinţa şi ştiinţa adevărată, barbaria şi umanismul, obscurantismul şi iluminismul sunt fenomene care au dat naştere fiecare

22 F. Dostoïevski, Crimă şi pedeapsă, în Opere, voi. 5, trad. Ştefana Velisar Teodoreanu şi Isabella Dumbravă, E.L.U., 1969, — Nota trad.

propriei sale culturi. Aceste culturi nu se află însă pe picior de egalitate!

Iată şi procedeul preferat al Criticului: într-un pătrat alb se pot găsi puncte negre, iar într-unul negru, puncte albe. De aceea, trebuie renunţat la opoziţia dintre alb şi negru, şi recunoscut că sunt identice. În acest fel se încearcă stabilirea egalităţii dintre pseudoştiinţă şi ştiinţă. Demonstraţia începe cu afirmaţia: „Printre rădăcinile istorice ale oricărei ştiinţe se găseşte întotdeauna un sâmbure de pseudoştiinţă”… şi aşa mai departe.

Câteodată Criticul se apucă însă de o treabă care-i depăşeşte forţele, şi anume, să demonstreze că reproductibilitatea experimentului nu este obligatorie. În acest scop, cerinţa reproductibilităţii rezultatelor este înlocuită cu cerinţa repetabilităţii obiectelor cercetării. Întrucât precesia orbitei lui Mercur s-a studiat numai cu planeta Mercur, experimentul este nerepetabil, afirmă „criticul”. Se trece sub tăcere faptul că nu-i nevoie de zece planete Mercur, ci de zece observaţii ştiinţifice ale unicului şi irepetabilului Mercur!

„Aşa după cum afirmă biologii chibzuiţi”, continuă Crir ticul, „organismele sunt infinit de diverse; din acest motiv nu se poate pretinde reproductibilitatea experimentului biologic”. Dar însăşi asemănarea obiectelor biologice „infinit de diverse” permite efectuarea de experimente reproductibile şi face din biologie o ştiinţă şi nu o colecţie de fapte.

Inspirându-se din lucrări de popularizare, un asemenea „critic” îşi asumă rolul de a interpreta ştiinţa, fapt care nu poate să nu-i şocheze pe specialişti. El nu se limitează la observaţii generale, ci încearcă să dea indicaţii metodologice concrete, deformând istoria ştiinţei şi făcând confuzie de termeni.

Criticul nostru foloseşte cuvintele „ştiinţă academică” ’ şi „specialist” cu o nuanţă peiorativă şi îl prezintă pe specialist ca pe un partizan mărginit al concepţiilor ştiinţifice actuale, care ar fi incapabil să înţeleagă până şi afirmaţia evidentă, conform căreia concepţiile se pot schimba după o descoperire importantă, din cauză că legile nu se pot extinde cu certitudine dincolo de limitele zonei studiate.

De obicei, cuvântul de „specialist” se foloseşte spre a-i desemna pe oamenii care se ocupă de un domeniu determinat al ştiinţei la înalt nivel şi cu o înţelegere corectă a perspectivelor. Fără îndoială că există şi specialişti slab pregătiţi. Dar, din cauză că există şi ùnii medici mai puţin pregătiţi, nu se preferă doftoroaia. Tot specialistul este cel care oferă cu o probabilitate mai

mare răspunsul corect la o problemă. Să-i parafrazăm pe Ilf şi Petrov: trebuie să-i iubim pe specialişti. Ei au răspândit cultura în toată lumea, au născocit tiparul şi revistele de popularizare a ştiinţei. Mai mult, tot specialiştii au scris şi cărţile de popularizare după care au învăţat cei care ne explică nouă ştiinţele „necunoscute”.

Trebuie să ne luptăm oare cu pseudoştiinţă?

În anumite situaţii pseudoştiinţă aduce mari prejudicii societăţii, de exemplu atunci când vreun pseudosavant reuşeşte să influenţeze economia, cultura sau pregătirea tineretului care face primii paşi în ştiinţă. Dar, dacă valoarea ştiinţifică a unei lucrări nu se stabileşte printr-un ordin administrativ, ci prin opinia comună a colectivelor de oameni de ştiinţă, probabilitatea unor aprecieri greşite devine minimă.

Din acest motiv, mi se pare că nu trebuie să se lupte împotriva pseudoştiinţei punând-o sub interdicţie, ori folosindu-i procedeele.

Lecţiile ignorante care s-au răspândit atât de mult – cum ar fi cele despre OZN-urile pilotate de umanoizi – trebuie combătute printr-un program susţinut de răspândire a cunoştinţelor. Tinerii care vin la astfel de lecţii, vor veni cu plăcere să-i asculte pe specialiştii serioşi. Ei vor fi desigur interesaţi să afle că niciun obiect material nu se poate deplasa cu o asemenea viteză şi cu o asemenea acceleraţie cu care, chipurile, s-ar mişca uneori farfuriile zburătoare; numai razele de lumină reflectate de o oglindă pot efectua astfel de mişcări.

Prin urmare, atunci când veţi vedea, sau veţi auzi despre fenomene stranii, care contravin legilor cunoscute de la şcoală, nu le daţi crezare necondiţionat. Aşa cum juriştii trebuie să pornească de la prezumţia de nevinovăţie a acuzatului, judecata sănătoasă presupune inexistenţa minunilor. Una dintre normele fundamentale ale dreptului roman este „Misiunea probatorie revine celui care afirmă, nu celui care neagă”.

Nu inexistenţa fenomenelor stranii şi neobişnuite trebuie demonstrată, ci existenţa lor.

Ştiinţa trebuie să selecteze cele mai verosimile explicaţii şi să le menţină atât timp cât experienţa sau teoria nu o obligă să le abandoneze. Aceasta este singura cale pe care se pot găsi fenomenele care neagă reprezentările curente.

Iată ce spunea cunoscutul sculptor englez Henry Moore: „Sculptorul sau

pictorul greşesc atunci când vorbesc sau scriu prea des despre activitatea lor. În acest fel, tensiunea creatoare, atât de necesară, slăbeşte”. Poate că din acelaşi motiv specialiştii serioşi scriu atât de rar despre metodele ştiinţei lor şi se indispun atât de des citind articolele lipsite de conştiinciozitate. Cât de multe lucruri minunate ar afla cititorii, dacă oamenii de ştiinţă ar considera de datoria lqr să le dezvăluie frumuseţea ştiinţei!

DESPRE PSIHOLOGIA CREAŢIEI ŞTIINŢIFICE

I

nteresul faţă de latura psihologică a creaţiei ştiinţifice a apărut o dată cu ştiinţa însăşi. Nu ne-am propus aici o trecere în revistă a literaturii, astfel încât vom omite paragraful care ar fi putut începe cu cuvintele: „încă la Aristotel, în *Organon*... şi vom trece direct la perioade mai târzii.

Observaţiile profunde şi cugetările din cărţile şi articolele marelui matematician francez Henri Poincaré (1854-1912) nu şi-au pierdut deloc din valoare cu trecerea timpului[23]. O încercare de clasificare a tipurilor psihologice de oameni de ştiinţă s-a întreprins în cartea „Oameni celebri” a eminentului chimist german Wilhelm Ostwald (1863-1932). Analizând caracterul şi stilul de muncă al diferiţilor oameni de ştiinţă, Ostwald a propus clasificarea lor în „clasici” şi „romantici”. Cunoscutul matematician şi pedagog Pólya face în cartea sa foarte captivantă „Matematica şi raţionamentele plauzibile”, o analiză a procedeelor şi metodelor care înlesnesc procesul creaţiei matematice[24].

În ultima vreme a crescut brusc interesul pentru aceste probleme şi au apărut o mulţime de articole despre psihologia şi metodologia ştiinţei. S-a

---

23 Vezi: Henri Poincaré, Ştiinţă şi ipoteză, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, 1986, trad, de' C-tin Popescu-Ulmu. — Nota trad.

24 Vezi: George Pólya, Matematica şi raţionamentele plauzibile> trad. R. Theodorescu, Editura Ştiinţifică, 1962. — Nota trad.

născut chiar şi un nou domeniu de cunoaştere – ştiinţa despre ştiinţă. Cum se explică toate acestea? Răspunsul poate fi găsit chiar în articolele de specialitate: „... astăzi, o naţiune incapabilă să preţuiască intelectul instruit este sortită pieirii”, sau: „avuţia naţională nu este bine caracterizată nici de rezervele de minereuri şi nici de cifrele de producţie, ci de numărul de oameni capabili de creaţie ştiinţifică”.

Aceste articole au un specific comun: ele nu sunt scrise de oameni de ştiinţă, ci de persoane care studiază structura ştiinţei, exact aşa cum se întâmplă şi în artă: articolele nu sunt scrise de artişti, ci de criticii de artă.

Ideile pe care le vom discuta aici constituie o excepţie de la regulă, fiind extrase din cugetările şi disputele celor care se ocupă nu de „ştiinţa” despre ştiinţă, ci chiar de ştiinţa însăşi. Nu-i vorba despre cercetări din domeniul ştiinţei despre ştiinţă, ci despre un schimb de experienţă, de formularea unor opinii acumulate în procesul muncii.

Atractia către creaţia ştiinţifică

Iubirea şi pasiunea ţi-s departe de lucrurile deşarte Tu de cercetare ai vrea să ai parte. Iubirea-i trecătoare şi pasiunea-i înşelătoare,

Dar minunată este şi fără’ perfidie, Alcătuirea gândacului de bucătărie.

N. Oleinikov

Ce anume îl atrage pe un tânăr spre ştiinţă? Care sunt trăsăturile de caracter necesare pentru o asemenea activitate? Cum se pot educa ele?

Nu ne vom opri asupra unor stimulente cum ar fi înţelegerea utilităţii sociale a ştiinţei, întrucât acest factor este prezent în mod egal în toate domeniile activităţii umane. Vom considera numai motivaţiile psihologice legate nemijlocit de creaţia ştiinţifică. Ele cuprind câteva elemente.

Curiozitatea, exprimarea, afirmarea

Dorinţa de afirmare, dorinţa de a-ţi demonstra ţie însuţi sau celor din jur, că poţi duce o treabă la bun sfârşit este mai puţin proprie spiritului ştiinţei, şi cu atât mai puţin tendinţa de a face o carieră sau de a trage foloase.

Un motiv poate fi şi dorinţa de a te exprima, de a-ţi reliefa personalitatea. Dar motivaţia cea mai nobilă şi care corespunde cel mai bine spiritului ştiinţei este curiozitatea, dorinţa de a afla cum este alcătuită natura. În acest caz, succesul altuia te bucură la fel ca propriul succes. O asemenea atitudine faţă de ştiinţă a manifestat cunoscutul fizician teoretician Isaak Iakobovici Pomeranciuk. Chiar pe patul demoarte se interesa de ultimele lucrări din domeniul teoriei particulelor elementare şi se bucura de fiecare idee nouă.

Un asemenea caz ideal se întâlneşte rar, nefiind o condiţie obligatorie. De obicei, sunt prezente toate trei motivele menţionate mai sus.

Câteodată, dorinţa de exprimare este atât de pronunţată, încât activitatea ştiinţifică nu ajunge pentru a o satisface pe

deplin. Max Planck a fost un bun pianist. Einstein cînta la vioară. Richard Feynman cînta la instrumentul de percuţie numit bongos. La Moscova a avut loc o expoziţie de succes intitulată „Savanţii desenează”…

Există oameni pentru care afirmarea constituie principalul stimulent al activităţii creatoare. Dar dacă această/ dorinţă nu este însoţită de o conştiinciozitate ireproşabilă, ea se transformă aproape inevitabil într-o goană după rezultate de efect şi la o nesocotire involuntară a faptelor. Câţi oameni talentaţi nu s-au pierdut pentru ştiinţă din cauza acestui neajuns!

Printre oamenii nefamiliarizaţi cu ştiinţa este larg răspândită părerea că savanţii sunt ghidaţi în cariera lor de dorinţa de a face o descoperire. De fapt, sarcina cercetătorului ştiinţific este studierea profundă şi multilaterală a domeniului de ştiinţă care îl interesează. Descoperirea este numai un produs secundar al cercetării. Aceasta nu înseamnă însă că toţi oamenii de ştiinţă sunt conduşi de astfel de idealuri, încât nu vor să facă descoperiri – dorinţa, desigur, există, dar în alt plan şi nu trebuie să influenţeze nici măcar în cea mai mică măsură corectitudinea cercetării.

Prin „descoperire” înţeleg un salt semnificativ în cunoaşterea naturii.

Descoperiri de mici proporţii, de obicei necunoscute de public, se fac mereu, constituind micile bucurii ale activităţii zilnice. Curiozitatea, capacitatea de a te bucura de fiecare pas, cât de mic, de fiecare mică descoperire – sunt condiţii necesare pentru cel care îşi alege o profesiune ştiinţifică.

Capacitatea de a te uimi şi paradoxurile ştiinţifice

Curiozitatea cercetătorului este legată în mod direct de capacitatea lui de a se uimi. Această calitate este necesară pentru activitatea creatoare din orice domeniu; fără ea n-ar exista nici poetul, nici pictorul, nici omul de ştiinţă. Dar, spre deosebire de artă, unde lucrul cel mai important este reacţia vie şi nemijlocită la cele văzute sau auzite, în ştiinţă trebuie să ştii să te uimeşti de rezultatele gândirii, de semnificaţiile cunoştinţelor acumulate. Atunci când un om de ştiinţă este uimit, înseamnă că a decelat o contradicţie între anumite fapte şi reprezentările obişnuite, adică a apărut un paradox ştiinţific. Dicţionarul lui Dai defineşte paradoxul după cum urmează: „părere stranie, barbară la prima vederé, care dă de gândit, opusă părerilor generale”. Această definiţie este valabilă şi pentru paradoxul ştiinţific, cu adaosul că trebuie convingător fundamentată. De multe ori para-ì doxurile au dus la revoluţii ştiinţifice.

Când primii navigatori care se călăuzeau după stele, au descoperit că cerul se schimbă, când oamenii care au început să se întrebe de ce când te apropii de un oraş vezi mai întâi vârfurile turnurilor, a apărut un paradox ştiinţific, şi din acest paradox, descoperirea că Pământul e rotund.

Din vremea lui Galilei se ştie că toate corpurile cad cu aceeaşi viteză, dacă se face abstracţie de rezistenţa aerului. Aceasta înseamnă că greutatea unui corp, adică forţa cu care Pământul atrage corpul este riguros proporţională cu masa corpului. Dar şi forţele de inerţie sunt proporţionale cu masele. Datorită acestei dependenţe identice a forţelor faţă de mase, un om aflat într-un ascensor care cade liber se află în stare de imponderabilitate: forţa de greutate este compensată exact de forţa de inerţie. Într-atât de frecvent ne-am izbit de această situaţie, încât nu remarcăm aici niciun fel de ciudăţenie. De ce oare greutatea corpurilor, indiferent de compoziţia şi. De starea lor, este proporţională cu masa, măsură a inerţiei? Nu rezultă oare din acest paradox că între inerţie şi gravitaţie (forţele de atracţie) ar exista o legătură internă profundă? Cu această idee a început edificarea uneia dintre

cele mai uimitoare teorii fizice, teoria gravitaţiei a lui Einstein.

Conform teoriei gravitaţiei, în vecinătatea corpurilor grele, geometria spaţiului sq modifică, deosebindu-se deci de geometria noastră euclidiană, obişnuită. Din cauza acestei modificări a geometriei, lumina nu mai parcurge o linfe dreaptă; curbarea razelor de lumină prin trecerea lor pe lângă Soare a fost constatată prin fotograţierea luminii unor stele îndepărtate.

De ce dau stelele atât de puţină lumină? Să presupunem că stelele populează Universul mai mult sau mai puţin omogen. Atunci, numărul de stele care se află într-o sferă cu raza R în jurul Pământului, creşte proporţional cu R3. Intensitatea luminii de la fiecare stea scade proporţional cu l/R2. Prin urmare, intensitatea totală a luminii de la stelele din sferă este proporţională cu R şi, dacă Universul ar fi infinit, atunci luminozitatea cerului ar fi limitată numai de absorbţia neglijabilă în spaţiul interstelar. Cerul ar trebui să strălucească „mai puternic decât o mie de sori[25]. Acest paradox era cunoscut de mult timp[26], dar rămăsese nerezolvat. El a fost rezolvat de cosmologia lui Einstein, care constituie o aplicare nemaiîntâlnită prin îndrăzneală a teoriei gravitaţiei la Universul ca întreg.

Într-o versiune iniţială a teoriei, Einstein a încercat să găsească o soluţie a ecuaţiilor sale care descriau un universfinit, închis în sine însuşi, ca suprafaţa unei sfere. Atunci numărul de stele dintr-un astfel de univers ar fi finit şi paradoxul cerului nocturn s-ar explica de la sine. Totuşi, aşa cum am mai menţionat, după Fridman, ecuaţiile cosmologiei lui Einstein nu permit soluţii independente de timp» Cândva, universul a fost compus din materie superdensă. Şi de atunci s-a extins mereu. Astronomii au măsurat viteza, cu care se depărtează una de alta aglomerările de stele. Din această viteză se poate deduce că universul a fost supradens acum 20 de miliarde de ani. Într-un univers care se dilată, indiferent dacă acesta este finit sau infinit, la noi ajunge numai lumina stelelor aflate la o distanţă mai mică decât 20 de miliarde de ani lumină. Acum 20 de miliarde de ani” încă nu existau stele.

Şi în universul finit şi în cel infinit, geometria este „curbă”, deosebindu-se de geometria plană, euclidiană. La întrebarea în ce fel de univers trăim nu se poate răspunde pe bază de raţionament. Răspunsul va fi dat de experiment.

---

25 Expresie folosită de participanţii la prima explozie nucleară experimentală americană din timpul celui de-al doilea război mondial, cutremuraţi de forţa dezlănţuită. — Nota trad.

26 Paradoxul a fost enunţat în 1826. de cunoscutul astronom H.W.M. Olbers, descoperitorul, între altele, al celui de-al doilea asteroid, Pallas. — Nota trad.

Saltul în înţelegerea universului, legat de trecerea de la spaţiul plan al geometriei euclidiene la un spaţiu având a curbură, este asemănător saltului pe care l-a făcut omenirea atunci când a observat că Pământul nu este plat, ci rotund.

La începutul secolului al XX-lea, a apărut un paradox foarte acut, generat de aplicarea legilor fizicii statistice la un obiect neobişnuit – la undele electromagnetice staţionare, care ar putea să apară într-o cutie ai cărei pereţi reflectă undele. Conform acestor legi, fiecare oscilaţie independentă, aflată în echilibru termic din cauza nenumăratelor absorbţii şi radiaţii din pereţi, trebuie să ajungă la energia kT, unde T este temperatura absolută a pereţilor, iar k este un număr care se numeşte „constanta lui Boltzmann”.

Dar numărul de unde electromagnetice staţionare din cutie este infinit. Într-adevăr, undele staţionare pot lua naştere în cutie, dacă dimensiunile ei permit intrarea unui număr întreg de semiunde. Cu cât este mai mică lungimea de undă, cu atât èânt mai multe direcţiile după care această condiţie este îndeplinită. Deci cu cât este mai scurtă lungimea de undă, cu atât este mai mare numărul de oscilaţii posibile. Prin urmare, timpul electromagnetic trebuie să preia toată energia termică a pereţilor, oricâtă căldură am transporta pe aceştia. Dacă fiecare oscilaţie ar avea într-adevăr energia kT, atunci, făcând un orificiu în cutie, am obţine o sursă formidabil de strălucitoare. Acest paradox a căpătat o denumire dramatică şi anume „catastrofa Rayleigh-leans”, deşi în realitate n-are loc nicio catastrofă.

Încercând să soluţioneze contradicţia, Max Planck a presupus că particulele pereţilor care absorb şi emit radiaţia electromagnetică îşi modifică energia în porţii de AE ho), unde h este coeficientul de proporţionalitate, iar e* este frecvenţa oscilaţiilor. Dacă energia minimă posibilă de oscilaţie hû este mult mai mare decât kT, oscilaţia va avea o intensitate mică. În conformitate cu legile fizicii statistice, intensitatea unei astfel de oscilaţii scade o dată cu creşterea frecvenţei, după o lege exponenţială, astfel încât oscilaţiile de frecvenţă înaltă au o contribuţie mică la energia termică şi paradoxul se rezolvă. Această lege se verifică experimental cu o precizie colosală, ceea ce permite determinarea mărimii h. În acest fel şi-a făcut apariţia în fizică mărimea h, „constanta lui Planck”, mărime care caracterizează valorile discrete posibile pentru emisia de oscilaţii electromagnetice. Tot astfel a apărut noţiunea de procese discontinui. (Mai exact, aici şi în cele ce urmează,

înţelegem prin h constanta lui Planck împărţită la 2 tt).

În lucrarea sa din 1905, consacrată efectului fotoelectric Einstein a folosit ideea discontinuităţii nu numai pentru emisie, cum a făcut Planck, ci şi pentru undele electromagnetice. Energia undei electromagnetice cu frecvenţa co se poate modifica numai în salturi, în porţii de ho. Porţia minimă de energie a oscilaţiilor electromagnetice a primit denumirea de „cuantă”. Dacă energia oscilaţiei conţine n porţii de ho, atunci se spune că în cutie există n cuante, ori n fotoni de frecvenţă ho).

Din ce cauză atomii emit lumină numai la frecvenţe discrete, bine determinate? Dacă electronii s-ar mişca în atom după legile mecanicii clasice, ei ar emite lumină de toate frecvenţele. Este posibil ca în atom electronii, la fel ca undele electromagnetice, să aibă şi ei numai nişte energii bine determinate?

Meditând asupra acestei probleme, ca şi asupra altor paradoxuri, Niels Bohr a ajuns la fundamentarea modelului cuantic al atomului.

În 1934, studiind luminescenţa soluţiilor de săruri de uraniu sub acţiunea radiaţiei X a radiului (cuante aproape,” dure”) Pavel Alekseevici Cerenkov a descoperit o lumină stranie, complet deosebită de lumina obişnuită.

La experimentul respectiv şi la interpretarea lui, a luat parte şi conducătorul ştiinţific al lui Cerenkov, Serghei Ivanovici Vavilov, care a devenit mai târziu preşedintele Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S. Acesta din urmă a intuit imediat importanţa noului fenomen. Analizând cauzele posibile ale radiaţiei luminoase, Vavilov a arătat că niciunul dintre mecanismele obişnuite nu pot explica particularităţile radiaţiei observate. De exemplu, nu putea fi vorba despre aşa-numita radiaţie de frânare – radiaţie care se obţine atunci când electronii rapizi produşi de cuantele gama sunt împrăştiaţi pe atomi (electronii respectivi sunt smulşi de cuante din atomi).

Radiaţia de frânare este emisă la unghiuri mici în direcţia mişcării electronilor de mare energie în timp ce radiaţia găsită de Cerenkov se observă la unghiuri mari. Fenomenul a părut şi mai straniu atunci când s-a observat că radiaţia are loc numai după un unghi strict fixat faţă de direcţia cuantelor gama şi deci şi faţă de direcţia electronilor smulşi de către acestea.

De câte ori un fenomen contrazice atât de flagrant teoria, apare tentaţia de a pune la îndoială temeinicia experimentului. Totuşi, fără să ţină seamă de

toate obiecţiile, Cerenkov şi-a continuat cu o stăruinţă de adevărat experimentator lucrările, desăvârşind metodica măsurătorilor. El a demonstrat că radiaţia anomală apare într-o diversitate imensă de lichide. Aşa a apărut un paradox ştiinţific.

Vavilov' s-a apropiat la un moment dat foarte mult de explicarea fenomenului. El a presupus că electronii generaţi de radiaţia gama sunt supuşi în timpul deplasării lor în mediul respectiv la excitaţii periodice şi din această cauză produc lumina observată.

Dar această explicaţie a fost respinsă de teoreticieni, care au obiectat, arătând că electronul se mişcă în lichid cu o viteză constantă, iar particula încărcată radiază numai atunci când este accelerată sau frânată. Electronul emite unde electromagnetice din fiecare punct al traiectoriei sale* dar, atunci când se mişcă rectiliniu şi uniform, se găsesc întotdeauna porţiuni de traiectorie care emit unde în opoziţie de fază şi care se sting unele pe altele. Dacă în urma ciocnirilor, sau sub influenţa unui câmp electromagnetic, electronul îşi schimbă direcţia, undele emise înainte şi după schimbare încetează să interfereze distructiv şi astfel apare radiaţia de frânare.

Aşa s-a explicat de ce electronul nu emite lumină dacă se mişcă uniform şi rectiliniu. Dar în această explicaţie există o presupunere rămasă neobservată: viteza electronului era considerată mai mică decât viteza luminii. Această condiţie este totdeauna îndeplinită în cazul vidului. Conform teoriei relativităţii, oricât de mare ar fi energia particulelor* viteza lor este mai mică decât viteza luminii. Dar într-un fluid, electronul de mare energie se deplasează cu o viteză apropiată de viteza luminii, în timp ce undele electromagnetice se răspândesc cu viteza c', mult mai mică: c' e/n" unde n este indicele de refracţie al mediului (în soluţii" pentru lumina vizibilă, n 1,5).

Nu este greu să ne imaginăm că în cazul în care v e există un unghi de radiaţie în care undele care pornesc de la toate porţiunile traiectoriei se însumează. Unghiul © este legat direct de viteza electronului şi de indicele de refracţie: cos © c'/v. Exact sub acest unghi se produce radiaţia Cerenkov – Vavilov.

Un fenomen asemănător, dar nu pentru lumină, ci pentru sunet, a fost descoperit în secolul trecut de Ernest Mach. Glontele care se deplasează cu o viteză supersonică emite şuieratul sub un unghi, al cărui cosinus este egal cu raportul dintre viteza sunetului şi viteza glontelui (unghiul lui Mach). La fel se

întâmplă şi cu avioanele supersonice.

În 1937, Igor Evghenievici Tamm şi Ilia Mihailovici Frank au înţeles cauza fizică a fenomenului numit radiaţia Cerenkov – Vavilov şi" i-au formulat teoria cantitativă. Determinând unghiul sub care este emisă radiaţia, se poate găsi viteza particulei încărcate. Din acest motiv, radiaţia Cerenkov – Vavilov a jucat un rol important în experimentele din fizica energiilor înalte. A devenit posibil să se determine cu o mare precizie energia protonilor sau a altor particule care iau parte la ciocnirile particulelor elementare.

În 1958, I. Tamm, I. Frank şi P. Cerenkov au primit Premiul Nobel „pentru descoperirea şi interpretarea efectului Cerenkov".

Iată acum modul în care academicianul Piotr Leonidovici Kapiţa, de la Institutul de fizică al Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S., a descoperit, în 1937, fenomenul de suprafluiditate.

Pe atunci se studiau proprietăţile heliului lichid la tema per aturi joase. Se ştia că la temperaturi mai scăzute decât 2,2 K C270,8 grade Celsius), heliul lichid trece într-o altă stare heliul II, cu proprietăţi complet diferite. Fizicianul olandez Willem Keesom a constatat faptul ciudat că heliul II are o conductibilitate termică de IO6 ori mai mare decât cuprul. Apoi s-a constatat că heliul II are o vâscozitate anomal de mică, de IO3 ori mai mică decât apa. Dar mecanismul microscopic al conductibilităţii termice şi al vâscozităţii sunt foarte asemănătoare, iar la o conductibilitate termică mare, trebuie să apară şi o vâscozitate mare. Conductibilitatea termică este determinată de viteza de transr mitere a energiei termice de la un strat la altul, iar vâscozitatea – de viteza de transmitere a impulsului. Cu cât una dintre aceste mărimi fizice are valori mai mari, cu atât este mai mare şi cealaltă, dar la heliu totul era invers.

Examinând acest paradox, Kapiţa a ajuns la concluzia că nu este vorba despre niciun fel de „supraconductibilitate termică" şi că valoarea mare a conductibilităţii termice găsită de Keesom este mijlocită de nişte curenţi care apar în heliul II din cauza stării de suprafluiditate. În această stare, heliul lichid poate trece prin tuburi fără nicio frecare. Cea mai mică neomogenitate de densitate apărută ca urmare a diferenţelor de temperatură este suficientă pentru ca, sub influenţa forţei de greutate, să apară curenţi care transportă căldură.

Pentru ca ideea lui să devină un adevăr dovedit, Kapiţa a trebuit să efectueze zeci de experienţe de mare fineţe. Fiind un experimentator de prim

rang, el a discutat experimentele cu un teoretician de aceeaşi talie, Lev D avido vici Landau. Teoria şi experimentul se stimulau reciproc. Datorită acestei colaborări, Landau şi-a conceput una dintre cele mai valoroase lucrări – teoria heliului lichid II, explicând cantitativ toate fenomenele descoperite experimental de Kapiţa.

Simţul frumosului

Din aceste exemple se poate vedea ce rol joacă în ştiinţă capacitatea de a te uimi. Dar, în acelaşi timp, exemplele date oferă şi o idee despre frumuseţea ştiinţei. Din faptele neobservate la prima vedere, apar, prin analize profunde, consecinţe neaşteptate de cea mai mare importanţă. Cerul nocturn slab luminat ne-a obligat să reconsiderăm punctele noastre de vedere privind structura geometrică a lumii. Legea conservării energiei şi trecerea uniformă a timpului ne apar strâns legate. Câmpului electromagnetic i se aplică legile descoperite prin studierea atomilor unui gaz încălzit, ceea ce duce la o concluzie conform căreia, energia oscilaţiilor electromagnetice nu se poate modifica decât cu cantităţi discrete, fapt aflat în contradicţie totală cu mecanica clasică.

Eminentul matematician german David Hilbert a exprimat interdependenţa logică a rezultatelor ştiinţei în modul următor: „Permiteţi-mi să admit că doi ori doi fac cinci, şi eu vă voi demonstra că pe coşul sobei iese o stafie”. Frumuseţea ştiinţei se află atât în armonia ei logică cât şi în bogăţia conexiunilor sale. Simţul frumosului permite să se verifice corectitudinea rezultatelor şi să se caute legităţi noi. Acest simţ constituie o reflectare în conştiinţa noastră a armoniei existente în natură.

Noţiunea de frumos este atât de importantă în ştiinţă, încât vom reveni de multe ori asupra ei.

Capacitatea de a simţi frumuseţea şi de a te uimi trebuie să fie determinante în alegerea unei profesii ştiinţifice.

Recifele

Dumnezeu este subtil, dar nu rău intenţionat

Înscripţie pe căminul din locuinţa lui Einstein

Niels Bohr spunea că „Specialist este cel ce cunoaşte greşelile care se fac de obicei în domeniul respectiv şi ştie să le evite”.

Să examinăm deci cele mai frecvente şi mai importante greşeli psihologice care îngreunează activitatea ştiinţifică.

Este mai important cum gândeşti decât ce gândeşti. (J.W. Goethe)

În primul stadiu al lucrării, atunci când trebuie să aţâţi flacăra gata-gata să se stingă, căutarea unor argumente care să sprijine punctul de vedere adoptat este deseori absolut necesară. Dar, atunci când lucrarea a început să capete contur, autoliriiştirea îţi aduce numai prejudicii. Din acel moment, sarcina principală devine căutarea faptelor care te pot contrazice. Dovezile „pro” se găsesc de la sine, aproape fără efort.

Tendinţa de a face cu orice preţ o descoperire duce frecvent la căutarea argumentelor liniştitoare, sau chiar la o anumită manipulare a faptelor.

Iată un caz în care o abatere minoră de la scrupulozitatea prelucrării datelor experimentale a dus, prin acumulare, la un rezultat total incorect. Era în studiu distribuţia după energie a particulelor emise de nuclee prin dezintegrarea alfa, sau, cu alte cuvinte, se urmărea obţinerea spectrului energetic al particulelor alfa. El constă din nişte picuri (vârfuri) pronunţate. Nu este dificil de imaginat că diferenţa dintre picuri oferă posibilitatea calculării valorilor energiei de excitaţie a nucleului rămas în urma dezintegrării alfa (nucleul-fiică).

Experimentele au evidenţiat grupuri de particule alfa separate unele de altele prin intervale egale de energie, fapt care înseamnă că şi nucleul-fiică are nivelele energetice separate prin intervale egale. Rezultatul era total neaşteptat şi contrazicea reprezentările despre structura nucleului.

Experimentatorii s-au adresat teoreticienilor pentru explicaţii. Cu toate strădaniile lor, aceştia din urmă n-au reuşit să înjghebeze nicio teorie, fapt cu care ne putem mândri, întru cât verificările ulterioare n-au confirmat rezultatele experimentale acumulate iniţial. Mai târziu, s-a clarificat că încă de la începutul experimentului s-au obţinut întâmplător nişte curbe care evidenţiau energii echidistante ale particulelor alfa. Acest rezultat neaşteptat

i-a tulburat într-atâta pe experimentatori încât, de fiecare dată când nu se mai repeta, aceştia verificau tensiunea reţelei, iar dacă tensiunea se deosebea de cea nominală, renunţau la rezultatele măsurătorilor. O astfel de verificare era întreprinsă numai atunci când rezultatul nu convenea. Datorită statisticii bogate, o mică discriminare a dus la obţinerea unui spectru cu energii riguros echidistante. Faptele descrise s-au întâmplat în laboratorul unui experimentator renumit pentru conştiinciozitatea lucrărilor sale, dar care, în cazul relatat, şi-a pierdut controlul asupra colaboratorilor săi mai puţin versaţi. Nu există, desigur, conştiinciozitate de calitatea întâia sau a doua, conştiinciozitatea este numai de un singur fel: ireproşabilă. Este exact aşa cum spunea Woland în cartea *Maestrul şi Margareta* a lui Bulgakov: „... prospeţimea e numai de un fel, de calitatea întâia, care e şi ultima".

Simptomele „marii descoperiri"

Aspiraţia de a face cu orice preţ o descoperire, de a înfăptui o cotitură în ştiinţă îl duce adesea pe om dincolo de posibilităţile sale reale şi uneori sfârşeşte trist, sau chiar tragic. Se ştie că institutele de fizică stabilesc prin rotaţie cercetători care să dea răspunsuri autorilor „marilor descoperiri". „Descoperirile" de acest fel au următoarele caracteristici generale: g

™ 1. Cotitura survine nu numai într-o anumita problemă, ci dintr-o dată în toate rezultatele ştiinţei contemporane.

2. Autorul nu posedă cunoştinţe în domeniul respectiv.

3. Nu sunt citate niciodată lucrările ştiinţifice contem porane, probabil deoarece autorul nu le cunoaşte.

4. Autorii afirmă că lucrarea lor esté rodul unor eforturi de mai mulţi ani, deşi se vede că timpul respectiv n-a fost folosit nici pentru calcule matematice, nici pentru experimente, şi nici măcar pentru analiza faptelor cunoscute, ci numai pentru autoliniştire.

5. Autorii n-au produs niciodată lucrări de proporţii mai modeste.

Putem astfel identifica fără greş şi indiferent de detalii lucrările „noului întemeietor" sau ale „deschizătorului de drumuri" (terminologia a fost

inventată pentru asemenea cazuri încă de către Wolfgang Pauli). Adevărata cotitură în ştiinţă implică în mod nemijlocit o arie relativ restrânsă de fenomene şi se produce pe fundamentul solid al cuceririlor existente ale ştiinţei, ale tuturor domeniilor conexe. Ştiinţa contemporană este, atât de specializată, încât necesită un arsenal imens de cunoştinţe tehnice, care se dobândesc nur mai printr-o muncă îndelungată, susţinută şi conştiincioasă.

Din nefericire, câteodată, asemenea „lucrări" găsesc sprijin din partea unor oameni cu titluri ştiinţifice şi sunt publicate în articole şi cărţi. Partizanii senzaţionalului în ştiinţă indiferent de funcţii şi titluri, au aceeaşi relaţie cu ştiinţa, ca şi autorii „descoperirilor". Ar fi bine dacă redactorii care nu au suficientă calificare ştiinţifică s-ar conduce în aprecierile lor după lista de simptome ale „marii descoperiri".

Superstiţii şi legende

O prelucrare insuficient de riguroasă a datelor statistice duce în mod inevitabil la greşeli şi la apariţia superstiţiilor. Fiecare om a trecut prin ceva neobişnuit care ar trebui explicat prin telepatie. Dar, până acum, aşa cum am mai amintit, nu există dovezi serioase în favoarea acesteia. În pofida unor cercetări de ani întregi, nu există experimente care să ofere rezultate repetabile cu o statistică cât de cât convingătoare. Dar aceeaşi conştiinciozitate ştiinţifică ne interzice să afirmăm că nu există telepatie. Tot ceea ce se poate spune este că fenomenul n-a fost pus în evidenţă şi, din aceist motiv, existenţa sa este puţin probabilă.

Discuţia noastră a început prin sublinierea dificultăţii întâmpinate la trecerea de la intuiţie la adevărul ştiinţific

dovedit. Omul de ştiinţă dobândeşte adevărul cu eforturi chinuitoare, înaintând pas cu pas, ca un alpinist pe peretele vertical al muntelui.

Filmul „Amintiri despre viitor”[27] a dezamăgit pe toţi cei care au cât de cât legătură cu ştiinţa. Pornind de la fapte care au zeci de explicaţii simple, în film se susţine cu o uşurinţă ieşită din comun că pe Pământ ar exista urme ale astronauţilor veniţi de pe alte planete. Schema manipulării faptelor este următoarea: dacă într-o imagine din antichitatea îndepărtată un om apare cu o oală pe cap, oala este considerată o cască de astronaut, iar dacă apare fără oală, atunci înseamnă că i-a căzut la frânarea cosmonavei cu care a călătorit. Autorii nu-şi pun întrebarea de ce astronauţii de pe alte planete trebuie să fie asemănători cu astronauţii noştri, de ce dotările lor trebuie să fie asemănătoare cu ale noastre ş.a.m.d., dar hiba nu-i aici. Autorii filmului nu înţeleg, sau se prefac a nu înţelege ce diferenţă imensă există între o bănuială, fie ea şi verosimilă şi adevărul demonstrat cu certitudine, când sunt excluse categoric orice alte explicaţii, în afară de una singură.

Există numeroase exemple de „superstiţii”, de erori destul de răspândite, apărute pe temeiuri şubrede. Reprezentarea energiei termice ca un fluid (caloricul), care ar curge de la corpul fierbinte la cel rece, a fost firească şi fertilă, dar după apariţia teoriei cinetice a gazelor, caloricul a trecut în categoria superstiţiilor, la fel ca eterul secolului al XIX-lea, după apariţia teoriei relativităţii.

În secolul nostru, chiar dacă survin, erorile se menţin foarte puţină vreme. Dar chiar şi în zilele noastre şi-au păstrat valoarea spusele fizicianului şi filosofului german din secolul al XVIII-lea, Georg Lichtenberg: „Descoperirea adevărului ştiinţific este frânată nu de erorile grosolane, ci de teoriile subtile, dar incorecte”.

Trebuie înţeles dinainte?

Există un cerc vicios din care, cel puţin aparent, nu se poate ieşi: fără o înţelegere clară a problemelor nu se poate face o lucrare ştiinţifică, dar la o înţelegere deplină se ajunge numai la sfârşit (şi uneori nici atunci). Iată una dintre dificultăţile principale ale activităţii ştiinţifice. Această contradicţie este depăşită în fiecare lucrare, dar procesul nu are loc în salturi, ci, pe măsura înţelegerii, cercetarea avansează” ceea ce la rândul său permite şi creşterea gradului de înţelegere.

Deseori, la începutul unei lucrări, atâta timp cât nu împiedică mersul înainte, răspunsurile la problemele sau întrebările mai dificile sunt amânate.

27 După cartea omonimă a lui E. von Däniken. — Nota trad.

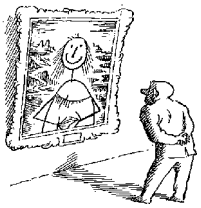
Câteodată, lista cu problemele nerezolvate se mai pierde printre hârtii. Când o regăseşti” vezi cu uimire că, în timpul rezolvării problemei principale, aproape toate neclarităţile au dispărut de la sine.

Tendinţa de. A înţelege absolut totul de la bun început, pentru ca numai după aceea să te apuci de lucru, este o cauză frecventă a eşecului. Există însă oameni care, prin însăşi structura lor, nu sunt în stare să bâjbâie în necunoscut, să lucreze fără să fi înţeles bine problemele. Astfel de cercetători ştiinţifici sunt foarte utili pentru aprecierea critică a lucrărilor. Este greu de supraapreciat rolul lor în ştiinţă; în orice caz acesta este mult mai mare decât îl relevă studiul propriilor lor lucrări, oricât ar fi ele de importante. Un fizician eminent, cu darul unei profunde înţelegeri, regretatul profesor Ilia Mironovici Şmuşkevici, aparţinea acestei categorii. La sfârşitul, sau chiar la jumătatea unei lucrări, fiecare dintre cunoscuţii săi se străduia să i-o supună criticii. Această procedură avea şi un nume: „a trece lucrarea pe la Şmuşkevici”. Toate părţile îndoielnice, sau insuficient gândite ieşeau atunci la iveală. Dacă lucrarea reuşea să „treacă” fără observaţii, însemna că totul este în ordine.

Într-o formă disimulată, teama de erori se manifestă prin dorinţa de a produce numai lucrări foarte sigure. O consecinţă a acestei atitudini este respingerea tuturor acelor cercetări care nu sunt posibile decât dacă se admit supoziţii mai puţin fondate, dar plauzibile. Chiar şi fizicienii de mare clasă au de suferit de pe urma intransigenţei împinsă peste limită. În necrologul consacrat lui Paul Ehrenfest care a fost un fizician de mare profunzime, Einstein scria: „El a suferit tot timpul din cauză că aptitudinile sale critice îi depăşeau capacităţile constructive”.

„Slujirea muzelor nu-ngăduie deşertăciunea…” A.S. Puşkin

Defectul opus este dorinţa de a „prinde din zbor”, de a ghici rezultatul ocolind procesul de înţelegere. Să-l numim „sindromul copil-minune”. Educaţia sau autoeducaţia cercetătorului ştiinţific trebuie să înceapă prin evitarea acestui sindrom. Landau, care se remarca printr-o cuprindere surprinzător de largă a tuturor domeniilor fizicii şi o formidabilă perspicacitate, nu permitea niciodată manifestări ale „sindromului copil-minune”, ci se străduia să ducă problema până la deplina ei clarificare. El spunea în glumă: „Sunt un vulgarizator genial”.



Se constată un fenomen remarcabil: gânclirea ştiinţifică profundă are de câştigat de pe urma simplificărilor. În artă, lucrurile stau invers: o operă încheiată nu se poate simplifica, întrucât această încercare o distruge. Cuvintele: „Băiete, umple-mi cupa cu licoare amăruie de Falerno!” s-ar putea, simplifica aşa: „Băiete, toarnă-mi vin!” Se pot, desigur, analiza elementele farmecului artistic, dar o operă de artă nu se poate reduce la elementele ei constitutive, ci trebuie recepţionată ca un întreg. În ştiinţă, însă, reducerea la elemente este posibilă.

Pentru înţelegerea fenomenelor importante din artă, trebuie să te ridici la înălţimea lor, în timp ce cuceririle ştiinţei pot fi: „coborâte” şi făcute accesibile „omului de pe stradă”, în acest scop, se impun eforturi creatoare la fel de intense ca şi pentru o lucrare ştiinţifică. Multe cărţi de popularizare, scrise de savanţi eminenţi, imprimă un impuls dezvoltării ştiinţei, la fel de mare ca lucrările lor de specialitate. Lectura unor astfel de cărţi necesită câteodată un efort susţinut, în schimb, ele nu ocolesc dificultăţile, iar simplificările nu degenerează în vulgarizare.

În munca ştiinţifică n-au ce căuta graba şi vanitatea, dar, pe de altă parte, o activitate insuficient de intensă nu este eficientă. De fapt, observaţia de mai sus este valabilă pentru orice activitate umană.

Încă o trăsătură psihologică îngreunează, de obicei, activitatea creatoare, şi anume, încrederea exagerată în sine. Desigur că nu se poate întreprinde nimic serios fără încredere în propriile forţe. Dar, când direcţia de cercetare este greşită, convingerea în infailibilitatea proprie are drept consecinţă menţinerea cu încăpăţânare a orientării.

Trebuie găsită proporţia justă între încredere şi îndoială, între şovăială şi fermitate, între flexibilitate şi inflexibilitate.

Câţi îngeri încap pe un vârf de ac?

Deseori, activitatea este frânată de discutarea unor probleme antiştiinţifice sau extraştiinţifice. Uneori, caracterul antiştiinţific se observa imediat, ca în cazul disputelor scolastice despre numărul îngerilor care încap

pe un vârf de ac, sau cazul când nu se discută esenţa problemei, ci terminologia. Caracterul extraştiinţific însă nu este chiar atât de evident.

Are, de exemplu, vreo semnificaţie ştiinţifică afirmaţia potrivit căreia, alături de lumea în care trăim, mai există una, pe care n-o observăm, întrucât nu interacţionează cu lumea noastră? Nu dispunem de niciun fel de mijloace pentru verificarea acestei afirmaţii, deci ea nu se află sub incidenţa ştiinţei.

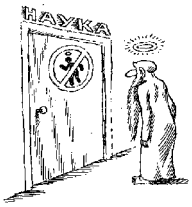
Putem formula oare îndoieli faţă de mecanica cuantică? Desigur că nu există adevăruri de care să nu te poţi îndoi, dar este mai bine să nu pui un lucru la îndoială decât pe baza unor motive solide. Ştiinţa nu s-ar fi putut dezvolta fără grija faţă de adevărurile bine stabilite.

Mecanica cuantică şi teoria relativităţii au fost supuse foarte des unor critici neştiinţifice. Cel mai frecvent, critica se reducea la încercarea de a explica în alt mod fenomenele ce fuseseră explicate de teorii anterioare. Dar, atâta timp cât nu sunt descrise experimentele care să dovedească justeţea noului punct de vedere sau erorile celui vechi, discuţia nu are. Legătură cu ştiinţa şi, în cel mai bun caz, poate avea doar o valoare pedagogică.

Există un criteriu sigur pentru a diferenţia problemele ştiinţifice de cele neştiinţifice. Toate afirmaţiile care din principiu nu admit nici măcar o verificare sunt neştiinţifice. Criteriul derivă din „principiul observabilităţii”, despre care a fost vorba în capitolul „Instrumentele cunoaşterii”. O posibilitate de verificare trebuie să existe, fie şi numai una mentală, dacă nu e posibilă una reală… Obiectul de studiu poate fi o teorie care nu descrie lumea noastră, dar care să fie logică, aşa cum este, de exemplu, geometria lui Lobacevski. Ea poate fi considerată ştiinţifică, numai dacă toate consecinţele ei pot fi supuse verificării mentale, dacă facem experimente mentale în lumea închipuită pe care o descrie teoria, sau, mai pe scurt, dacă se obţin anumite relaţii bine determinate între mărimile specifice ale teoriei.

Să luăm drept exemplu concepţia despre divinitate. Dacă divinitatea este prezentată ca fiind o substanţă spirituală, care nu influenţează legile naturii, existenţa ei nu se relevă prin relaţii observabile şi, prin urmare, în conformitate cu principiul observabilităţii, o asemenea divinitate este o noţiune neştiinţifică. Dar dacă prin divinitate se înţelege o forţă materială care influenţează legile naturii, această noţiune trebuie inclusă în sfera ştiinţelor naturii. Oamenii de ştiinţă pot repeta ideea lui Pierre Laplace, după care, până acum nu există date experimentale care să impună divinitatea. Toate legile

cunoscute ale naturii au putut fi explicate fără introducerea vreunor influenţe lătu ralnice.



Geniilor – respectul cuvenit! *

Dragostea faţă de ştiinţă este de neconceput fără respectul profund faţă de realizările spirituale ale înaintaşilor.

Cum se explică însă dorinţa destul de răspândită de a căuta nod în papură oamenilor geniali, de a le descoperi greşeli, de a le pune pe seamă „împrumuturi" de la alţii, micşorând astfel valoarea lucrărilor lor?

Desigur, uneori creaţiile geniale şi autorii lor sunt criticaţi din motive politice sau naţionaliste, aşa cum a fost cazul cu critica teoriei relativităţii întreprinsă de fascişti şi de urmaşii acestora. Nu despre aceasta vorbim acum; deşi n-are nicio justificare, situaţia are cel puţin o explicaţie.

Mult mai greu este de explicat un fenomen psihologic, şi anume, tendinţa de a umili geniul, răspândită nu numai în rândurile publicului larg, ci chiar şi în cercurile de oameni care se consideră specialişti.

Devenit, datorită vioiciunii penelului, pictor la modă, eroul gogolian Ceartkov din nuvela „*Portretul*" susţinea „că artiştilor vechi li se atribuiau prea multe calităţi, şi că toţi – până la Rafael – făceau scrumbii, nu trupuri omeneşti, iar ideea că ar exista în operele lor ceva divin, era numai rodul închipuirii admiratorilor. Susţinea că nici lui Rafael nu i-au reuşit toate operele şi că multe dintre ele şi-au păstrat faima numai în virtutea tradiţiei; că Michelangelo era un lăudăros; se fălea el cu cunoaşterea anatomiei, dar era cu totul lipsit de graţie"…[28]

Cât de mult au pătimit în timpul vieţii lor Galilei, Puşkin, Wagner, Boltzmann, Lobacevski, şi cât de multă energie sufletească a trebuit să irosească Einstein ca să se apere de atacuri şi; învinuiri absurde. Contemporanii ar trebui să se bucure că un om de lângă ei scrie un roman, face o descoperire, compune o simfonie, dar exact aceste fapte îi irită pe indivizii care gândesc ca Ceartkov.

28 N.V. Gogol, Opere, vol. III, Editura Cartea Rusă, 1956. — Nota trad.

„Cunoscătorii” nu-i lasă în pace pe marii creatori nici după moarte. Cui oare nu i-au fost atribuite sonetele şi tragediile lui Shakespeare: de la Francis. Bacon şi până la regina Elisabeta. Unii „critici muzicali” pretind că *Requiemul* nu este creaţia lui Mozart ci a unuia dintre elevii săi. Cioplind statuile unor mari savanţi, sculptorii îi înfăţişează deseori ca pe nişte pocitanii cu picioare scurte…

Ţinta predilectă a unor astfel de atacuri au constituit-o lucrările lui Einstein privitoare la teoria relativităţii restrinse şi a relativităţii generalizate (teoria gravitaţiei). Aproape toţi istoricii ştiinţei văd în teoria gravitaţiei un exemplu extrem de rar de mare descoperire făcută de un singur om. Când toate ideile fizice fuseseră formulate de autorul lor până la capăt, marele matematician german David Hilbert a îmbunătăţit ecuaţiile lui Einstein, făcându-le mai exacte. Acelaşi lucru l-a făcut, în mod independent, Einstein însuşi. Hilbert era conştient de rolul modest pe care l-a avut în dezvoltarea teoriei gravitaţiei. Dar se mai găseşte câte un „istoric al ştiinţei” care pretinde că Hilbert ar fi avut un rol major în desăvârşirea teoriei einsteiniene. Altul afirmă despre Einstein: „Ştiinţa are de câştigat când minţi pătrunzătoare sunt capabile să finalizeze idei care plutesc în aer”…

„Cunoscătorul” care se ocupă de istoria ştiinţei, minimalizând creaţia unor oameni de geniu, vorbeşte despre marile descoperiri ca despre ceva banal. El încearcă să lase impresia că descoperirile nu sunt rezultatul unor eforturi chinuitoare şi al unor străfulgerări şi că aceste descoperiri „pot fi cunoscute” uşor de către toţi. Deşi respectă evenimentele, un astfel de istoric denaturează de fapt istoria, asumându-şi, poate fără voia lui, sarcina de a minimaliza poezia şi grandoarea actului ştiinţific.

Despre ce este vorba de fapt, ce anume provoacă această boală: invidia, dorinţa de afirmare, grandomania?

Se poate, desigur, riposta că plăsmuirile nu au viaţă lungă. Einstein va rămâne Einstein, Mozart va rămâne Mozart, dar lipsa de respect faţă de marile realizări ale spiritului omenesc îi poate molipsi şi pe cei tineri, care vor păşi pe drumul către creaţie sorbind din otrava nihilismului.

Nu trebuie să ne plecăm orbeşte în faţa autorităţii, dar pentru a face posibile viitoarele împliniri, trebuie să cinstim memoria celor care au înfăptuit lucruri măreţe.

„Văd barba, dar nu-l văd pe filosof „(Proverb francez)

Pe cei care se ocupă cu ştiinţa îi pândeşte încă un pericol: „îmbătrânirea”. Am pus cuvântul între ghilimele, întrucât nu are nimic de-a face cu vârsta. „Îmbătrânirea” începe pe nesimţite şi poate lovi chiar o persoană de 30 de ani. Este foarte tentant să treci toată munca tehnică pe umerii ajutoarelor, ca să-ţi faci timp liber pentru activităţi ştiinţifice mai importante. Dar, încetul cu încetul, în acest fel se transmit prin delegaţie şi calculele şi chiar o parte din raţionamente. Nu se cade aşa ceva, după cum nu se cade nici să te adresezi unei persoane printr-un intermediar. Amatorii de pictură de vârstă mijlocie îşi amintesc foarte biâie pânzele uriaşe care acopereau pereţii sălilor de expoziţii în primii ani de după război. Tablourile acelea erau pictate după „metoda brigăzilor”: pânza era împărţită în pătrate şi dreptunghiuri, fiecare pictor lucra la parcela lui; uneori „diviziunea muncii” mergea şi mai departe: unul picta chipul, altul uniforma, al treilea, steagurile… Majoritatea tablourilor erau semnate de pictori cunoscuţi; din fericire, niciuna dintre aceste pânze nu mai sunt expuse.

De îndată ce un cercetător încetează să mai lucreze cu mâinile proprii, adică nu mai face măsurători, dacă este experimentator, sau calcule, dacă este teoretician, începe „îmbătrânirea” lui, indiferent de vârstă sau funcţie. Cel „îmbătrânit” îşi pierde capacitatea de a se uimi şi de a se bucura de fiecare pas cât de mic înainte şi, totodată, nu mai doreşte să studieze. O dată cu îngâmfarea şi aroganţa, apare tendinţa de a rezolva numai probleme de importanţă mondială… În acelaşi timp, numărul de lucrări publicate în unitatea de timp creşte brusc. Lui i se pare că toate sfaturile pe care le dă sunt deosebit de preţioase şi infailibile şi că este suficient să petreacă o jumătate de oră pe săptămână lângă o instalaţie experimentală, ca să devină coautor al lucrărilor. Este adevărat că, uneori, sfatul unui om calificat şi care are o mare experienţă, poate să influenţeze în chip hotărâtor mersul unei lucrări. Sfatul poate fi atât de valoros, încât să-i dea dreptul de a fi coautor. Dar acestea sunt excepţii, iar participarea la un număr mare de lucrări publicate constituie un semnal de alarmă. Adesea, acest fapt nu numai că nu inspiră respect, ci este prilej de ironie. Cum să le explici toate acestea celor vizaţi direct? Şi, în general, cum să explici că este imposibil de admis ca un cercetător, oricare ar fi el, să aibă un număr foarte mare de lucrări. Poate că ar trebui să conteze nu atât numărul lucrărilor ştiinţifice cât rezultatele originale obţinute, problemele ştiinţifice rezolvate în lucrările respective, sau,

dacă este absolut necesară o cifră, să se ia în consideraţie numărul de referiri la lucrările respective.

Pe lângă faptul că monopolizează presa ştiinţifică, numărul prea mare de lucrări ale unui autor creează o atmo-

sferă nesănătoasă de succes ieftin, străin scopurilor ştiinţei. Treptat, scade simţul de răspundere, precum şi exigenţa în ceea ce priveşte calitatea expunerii. Se naşte totodată ideea liniştitoare că, în pofida greşelilor, şi o lucrare incorectă indică deseori calea justă…

Treptat, conţinutul ştiinţific se diluează în generalităţi, creşte partea descriptivă şi scade numărul de formule. Lipsa de idei noi este compensată de autor prin observaţii pline de spirit. Atunci când încearcă să se reîntoarcă la activitatea adevărată, un astfel de cercetător este capabil să facă numai observaţii la lucrările efectuate de alţii. Această boală se acutizează când cercetătorul respectiv ajunge dintr-o dată într-o înaltă funcţie administrativă. Din acel moment, la enunţurile sale ştiinţifice se adaugă o încredere în sine, proporţională cu posibilităţile oferite de funcţie. Există multe astfel de cariere ştiinţifice. Activitatea administrativă nu poate înlocui bucuria autentică a muncii creatoare şi, deseori, din acest motiv, apare un profund simţământ de insatisfacţie care uneori este reprimat. Acesta este preţul subaprecierii muncii ştiinţifice.

Şi în activitatea artistică mecanismul de „îmbătrânire” este asemănător. Să ne amintim cuvintele eroului gogolian Ceartkov: pictorul poate deveni „bătrân” chiar de la începutul strălucitei sale cariere, dar marii maeştri ca: Leonardo, Tizian şi Picasso, au pictat până la adânci bătrâneţe tablouri minunate şi de mare profunzime. Ei au apelat fără şovăire la mijloace noi de expresie, renunţând la vechea cale bătătorită. Desigur, însă, că indiferent de vârstă, un om cu oastfel de caracteristică psihologică nu va face nimic important, ţuici măcar ceva folositor în ştiinţă.

În interesanta sa carte consacrată geneticii, *Mama*, *tata* şi *eu*, V. Polânin spune: „Ştiinţa are o mare slăbiciune pentru tinereV… şi mai departe… „ea

preferă un încurcă-lume uşuratec, dar stăpânit de spiritul revoltei şi al contestaţiei… /’.

Cred că succesul în ştiinţă nu este legat de vârstă, ci de o anume îmbinare a capacităţilor, de un anumit tip psihologic. Aceste calităţi nu se estompează obligatoriu o dată cu trecerea anilor.

Dar cum rămâne atunci cu faptul mai presus de orice îndoială, că majoritatea descoperirilor au fost făcute de oameni tineri? Din examinarea statistică a faptelor se trage concluzia că lucrările importante în matematică sau fizica teoretică se pot efectua numai până la 30 de ani.

După opinia mea, aici există o confuzie generată de analizarea incorectă a datelor statistice.

Statistica indică numai existenţa unei corelaţii între vârstă şi succesul ştiinţific, dar de aici nu rezultă că această legătură este absolută, sau că ar decurge din logica activităţii ştiinţifice.

Mulţi oameni părăsesc activitatea ştiinţifică din diverse motive exterioare care, deseori, dar nu obligatoriu, se înmulţesc o dată cu vârstă: griji familiale, boală, automulţumire.

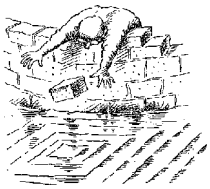
Munca ştiinţifică e grea. Mulţi oameni nu rezistă la efort şi o părăsesc pentru domenii mai uşoare.

Omul de ştiinţă trebuie să-şi restructureze întregul sistem de concepţii, stilul de muncă, sau chiar şi psihologia, o dată cu fiecare mare descoperire, ceea ce este, desigur, greu, dar nu imposibil. Desigur, cercetătorul tânăr, încă nemarcat de balastul reprezentărilor tradiţionale, poate face mai uşor acest lucru. Dar flexibilitatea gândirii, dobândită prin experienţa activităţii ştiinţifice, poate compensa acest avantaj al neofitului. În orice caz, capacitatea individuală de a recepta noul joacă un rol mult mai important decât schimbările care se produc în medie o dată cu vârstă. Din acest motiv, vârstă limită pentru activitatea ştiinţifică nu poate fi stabilită statistic, ci este determinată de calităţile individuale ale omului de ştiinţă.

Principala cauză a îmbătrânirii premature este, după părerea mea, următoarea: foarte des, dobândind succese la co vârstă fragedă, cercetătorul vrea să obţină în continuare rezultate cel puţin la fel de importante şi pierde capacitatea de a se bucura „de „micile descoperiri”, de munca zilnică, fără de care nu există activitate ştiinţifică. Atunci păşeşte pe drumul trist al îmbătrânirii pe care l-am descris mai sus.

Cred că cel care înţelege bine cauzele îmbătrânirii premature poate depăşi obstacolul pe care îl reprezintă vârsta. De altfel, nici eu nu sunt indiferent faţă de această problemă, şi, apărând interesele vârstei mele, pot greşi.

Un lucru este însă neîndoielnic: atunci când un om devotat ştiinţei simte, din cauza vârstei sau a bolii, o slăbire a. Fanteziei şi a capacităţii sale creatoare, când mai poate încă lucra, dar nu atât de intens, el are o singură soluţie onorabilă: să-i ajute pe elevii săi mândrindu-se cu lucrările lor, la fel cum un fost campion, devenit antrenor, se mândreşte cu. Recordurile elevilor săi.



Secretele meseriei

Când arunci pietricele în apă, priveşte la cercurile pe care le fac, altfel, degeaba le arunci

Kozma Prutkov

Este posibilă oare urmărirea modului în care se produc salturile în gândire, asociaţiile neaşteptate, clarificările bruşte – adică urmărirea tuturor elementelor care constituie pro cesul de creaţie? Cum se poate dirija fantezia în direcţia necesară? Ce procedee înlesnesc găsirea soluţiei? Cum a fost influenţată activitatea ştiinţifică de apariţia maşinilor de calcul? Care este ordinea în care trebuie planificate acţiunile pentru a ajunge mai repede şi mai sigur la rezolvarea unei probleme?

Lacrimile ascunse în cartea *„Ştiinţa şi* metodahenri Poincaré analizează procesul creaţiei matematice, care, după opinia lui, constă într-o succesiune de eforturi conştiente şi subconştiente.

Poincaré istoriseşte câteva cazuri în care, după multe ef01 turi sterile,

abandona lucrarea, ca apoi, în timpul unei plimbări, sau în timp ce se urca în omnibuz, să-i apară brusc soluţia. După aceea avea nevoie numai câteva ore pmtru a termina lucrarea. Această schemă este valabilă şi în fizica teoretică şi, cred eu, în multe alte domenii de creaţie. Când nu reuşea să ducă o povestire la bun sfârşit, Mihail Zoşcenko o punea deoparte spunând: „Nu-i nimic, să se mai coacă”. Câteodată soluţia vine în somn, cel mai adesea în acea stare tipică dintre somn şi veghe care survine după o muncă încordată. Pe vremea când cercetam expulzarea electronilor din atom în ciocnirile nucleare, calitativ, iotul era clar: în urma ciocnirii cu un nucléon, nucleul ia viteză într-un interval scurt de timp, iar electronii, având viteze mai mici decât viteza nucleului, nu reuşesc să zboare o dată cu acesta, rămânând în locul unde s-a produs ciocnirea. Dar soluţia cantitativă? Cum trebuia obţinută formula care să dea probabilitatea expulzării fiecăruia dintre electroni? Subconştientul mi-a oferit ideea în somn: o călăreaţă evoluează în arena unui circ; se opreşte brusc, şi florile pe care le ţine în mână zboară în public. Acest vis mi-a sugerat că trebuie să trec în sistemul de coordonate în care s-a oprit nucleul după ciocnire; în acest sistem starea electronilor era mai uşor de descris. Rămânea doar să transpun această idee în limbajul mecanicii cuantice.

Să precizăm ce este „subconştientul” şi să-l separăm de noţiunea de „inconştient”, acesta din urmă fiind o sferă specială a psihologiei, calitativ diferită de conştiinţă. „Inconştientul” – o structură psihică firească – stă la baza simbolurilor, viselor, miturilor, poveştilor, legendelor, superstiţiilor. Subconştientul despre care vom vorbi este un domeniu al psihicului vecin cu conştientul, un domeniu care conservă întreaga experienţă dobândită şi care nutreşte intuiţia. Subconştientul activează foarte susţinut, ferindu-l deseori pe om de pericole, sugerându-i savantului soluţia, scriitorului ideea, pictorului forma. Să ne amintim splendidul episod din romanul *Garda alba* al lui Bulgakov, când Nikolka Turbin fuge de petliuriştii care intraseră în oraş. El aleargă prin curţi de trecere şi la un moment dat ajunge la un zid orb. Nu se poate întoarce căci este urmărit. „Porni să se caţere peste un morman de cărămizi sparte, apoi pe zidul abrupt al clădirii, proptindu-şi vârfurile cizmelor în scobituri atât de mici, încât altădată n-ar fi încăput acolo nici măcar un bănuţ”[29]. În „vreme de pace”, subconştientul tace, omul priveşte zidul orb în mod conştient şi nu se caţără pe el. În situaţii limită, lucrurile se petrec

29 Mihail Bulgakov, Garda albă, trad, de Alexandru Calais, ELU, 1969, — Nota trad.

invers: suntem conduşi de subconştient, de intuiţie.

Eforturile conştiente de a rezolva o problemă trasează subconştientului sarcina de a căuta soluţia într-un anume cerc de noţiuni. Subconştientul face o selecţie din cunoştinţele acumulate şi mai ales din arsenalul experienţei proprii, reţinând acele asociaţii de noţiuni care pot fi folositoare. Ele sunt supuse judecăţii conştientului şi fie se dovedesc folositoare, fie rămân în umbră. O particularitate a activităţii subconştiente este apariţia necontrolată a asociaţiilor. Din acest motiv, devin posibile cele mai neaşteptate alăturări.

Uneori, în timpul unei nopţi de insomnie, provocată de o muncă intensă, priveşti procesul oarecum dinafară şi atunci vezi mai multe detalii, tabloul devenindu-ţi mai apropiat. Poincaré şi-a imaginat nişte molecule care, printr-o activitate preliminară a conştientului, sunt puse în mişcare, se ciocnesc şi se despart, dar câteodată se mai şi unesc una cu alta, alcătuind asociaţii stabile. Un alt mod: subconştientul este reprezentat ca o adunare de oameni mai mult sau mai puţin cunoscuţi între ei, fiecare reprezentând câte o noţiune. Trebuie ca participanţii la adunare să se intereseze unul de celălalt şi să comunice. Trebuie ştiut care dintre ei s-au mai întâlnit înainte. Trebuie să simţi atmosfera adunării, întrucât aici va fi găsită cheia spre ideile căutate. Desigur că tabloul prezentat este doar intuitiv. Conform principiului observabilităţii, anumite trăsături ale tabloului capătă valoare ştiinţifică dacă pe baza lor pot fi indicate procedee capabile să mărească eficienţa procesului subconştient.

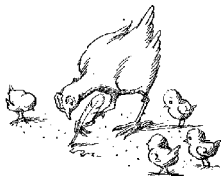
Fantezia bine temperată

Astfel de procedee există într-adevăr. Este îndeobşte cunoscut faptul că rezultatele sunt mai bune dacă lucrezi până spre seară. Este ca şi când ai da o temă subconştientului; dimineaţa te trezeşti cu un program clar de acţiune.

Ca să ieşi dintr-un punct mort, în care ai ajuns încercând să rezolui o problemă dificilă, este necesar, ca prin eforturi conştiente, repetând de mai multe ori raţionamentele şi calculele, să cunoşti pe de rost argumentele „pentru” şi „contra”, astfel încât să poţi face calculele nu pe hârtie, ci în minte. O astfel de pregătire uşurează atât de mult misiunea subconştientului, încât soluţia vine foarte curând de la sine. Raportul dintre activitatea conştientă şi cea subconştientă, dintre analiză şi intuiţie se poate dirija în mod conştient. Pentru a mări ponderea controlului, se poate lucra în colaborare cu un cercetător cu un simţ critic foarte dezvoltat, iar pentru stimularea intuiţiei,

se poate alege o persoană înclinată spre fantezie.

Pentru ca intuiţia să se poată manifesta, este bine ca pentru un timp să faci abstracţie de dificultăţi şi să te laşi în voia fanteziei. În cazul unei invenţii, când trebuie să cauţi o mulţime de variante ale soluţiei, este foarte folositor „să visezi cu ochii deschişi”, uitând un timp de greutăţile realizării tehnice propriu-zise.



Pentru a forma la studenţi capacitatea de a alterna eforturile conştiente cu cele intuitive, sunt utile lecţiile improvizate, în cadrul cărora lectorul încearcă să clarifice cu ajutorul studenţilor o problemă nouă chiar şi pentru el însuşi, arătând pe viu cum trebuie soluţionată. În acest caz, devine evident modul în care soluţia este dictată de însăşi logica problemei.

Cred că o metodă eficace de a-i învăţa pe cei tineri fizica teoretică este să lucrezi în prezenţa lor. La început, ei doar „urmăresc cu atenţie”, străduindu-se să înţeleagă dificultăţile şi împlinirile. Apoi devin participativi, formulează întrebări şi opinii, încep dispute şi, în sfârşit, vine momentul când studentul are idei proprii şi când se conturează problemele pe care le poate rezolva independent. Aceste activităţi dau roade nu atât în privinţa deprinderii procedeelor tehnice, cât în parcurgerea împreună cu profesorul a întregului drumsinuos, cu toate suişurile şi coborâşurile, de la ideea iniţială până la lucrarea încheiată.

Probabil că la fel ar putea fi educaţi şi alpinisti! Începători, dacă tehnica securităţii n-ar interzice cu desăvârşire sportivilor de categoria a III-a să iasă împreună cu maeştrii pe un traseu de gradul al V-lea de dificultate. Atitudinea elevului faţă de profesor aminteşte de atitudinea copiilor faţă de părinţi – iniţial respect exagerat şi chiar admiraţie. Această perioadă este şi cea mai rodnică, căci elevul îşi însuşeşte toate sfaturile profesorului. Apoi apare o apreciere mai lucidă, o atitudine critică. Uneori survine răceala, sau chiar înstrăinarea. Atunci învăţarea nu dă rezultate şi sepas rarea temporară e mai utilă. Cu timpul, înstrăinarea dispare şi locul ei este luat de dragostea matură, care este mai echilibrată.

Cel care a realizat măcar o dată ceva ce era la limita posibilităţilor lui, sau, aparent, chiar dincolo de aceasta, ştie că nu există decât un singur drum spre succes, acela al eforturilor susţinute, fără retrageri, prin rezolvarea unor probleme auxiliare, prin abordarea multilaterală şi înlăturarea tuturor obstacolelor şi oricăror alte preocupări, până la atingerea stării de extaz (sau de inspiraţie), când conştientul şi subconştientul se întrepătrund, când gândirea conştientă se continuă în somn şi când subconştientul acţionează şi în starea de veghe... Acest extaz este destul de periculos, fiind învecinat cu tulburarea psihică, cu acea stare descrisă de Cehov în nuvela *Călugărul*. Einstein scria că în perioada elaborării teoriei relativităţii avea chiar halucinaţii. Dar o astfel de situaţie apare rareori. Pentru a se ajunge aici este nevoie de o serie de coincidenţe puţin probabile: existenţa unei probleme dificile, care să te capteze total, sentimentul că tu eşti cel care poţi şi trebuie s-o rezolvi, stăpânirea teh-r nicii permiţând rezolvarea, experienţa soluţionării unor probleme de acelaşi gen, dar mai uşoare, o sănătate de fier, pentru a rezista la insomniile îndelungate, şi, în sfârşit, să nu te preocupe nimic altceva. Dar mai ales trebuie să ai marele curaj de a crede în rezultatul obţinut, oricât s-ar deosebi el de ceea ce este îndeobşte acceptat, de a nu te speria de concluziile proprii, ci de a le duce până la capăt. Cât de multe lucrări admirabile n-au fost abandonate din lipsă de curaj!

Stilul activităţii ştiinţifice

Indiferent de domeniu, procesul de creaţie prezintă trăsături asemănătoare. Creaţia artistică, aşa cum a fost ea descrisă de pictori şi poeţi, este foarte apropiată de creaţia din matematică, descrisă de Poincaré. Se aseamănă chiar şi metodele de rezolvare a unei probleme. Vizitând atelierul unui sculptor, I.I. Pomeranciuk a spus: „în artă, ca şi în ştiinţă, trebuie să ştii ce anume nu prezintă importanţă între adevărul conţinut în opera de artă şi adevărul la care aspiră ştiinţa există însă o deosebire de principiu. Sarcina artei este de a privi lumea cu ochii artistului, de a cunoaşte legătura dintre natură şi om. Această sarcină este necesarmente subiectivă şi opera de artă trebuie să conţină trăsăturile individualităţii creatorului ei.

Sarcina ştiinţei este de a descoperi legile obiective ale naturii şi, de aceea, rezultatul final nu depinde de calităţile individuale ale omului de ştiinţă. Dar obiectivitatea ştiinţei dispare în momentul când se trece de la ţelul

final la căile de realizare ale lui, la metodologie. Fiecare om de ştiinţă are propriul său stil de cercetare, maniera sa personală de a aborda problemele. Mai mult, stilul şi modul de abordare determină şi caracterul problemelor pe care le studiază, în acest caz, individualitatea omului de ştiinţă se manifestă la fel ca individualitatea arhitectului, care exprimă tendinţa către armonie în cadrul unei activităţi concrete.

Cum se manifestă însă individualitatea stilurilor în fizica teoretică? Există fizicieni pentru care nu este important cum se obţine rezultatul, numai scopul să fie atins, dar există şi alţii (meritând, după părerea mea, mai mult respect) cărora le place metodica teoriei şi care reuşesc să obţină rezultatul nu pe căi artificiale, ci într-un mod cât mai adecvat scopului. Procedând astfel, înţelegerea este mai profundă, şi prin urmare, rezultatele mai exacte. Există fizicieni teoreticieni „abstracţi", care pot să rezolve probleme fără o legătură directă cu experimentul şi fizicieni teoreticieni, care lucrează în contact strâns cu experimentatorii. Activitatea acestora din urmă constă în mare parte în analiza teoretică a experimentelor făcute, sau care urmează a fi făcute. Alături de teoreticienii care preferă o abordare strict matematică (posibilă, din păcate, numai rareori în fizica teoretică) există teoreticieni pentru care este mai important demersul calitativ, în cadrul căruia rezultatele se obţin la început pe modele simplificate şi cât mai concrete.

Dintre fizicienii sovietici, cel care ştia ca nimeni altul să aplice metoda adecvată problemei a fost Lev Davidovici Landau. Regretatul academician Vladimir Aleksandrovici Fok formula problemele cu o maximă rigurozitate. El a obţinut rezultate deosebit de importante în mecanica 'cuantică, rezolvând probleme ce permiteau o formulare strict matematică. Igor Evghenievici Tamm îmbina mai multe stiluri: uneori aborda lucrări consacrate studiului unor modele aproximative ale fenomenului, alteori, la fel ca Landau, studia o problemă fizică complicată folosind metode aproximative. Nikolai Nikolaevici Bogoliubov reprezintă un exemplu rar de îmbinare a două profesii: matematician şi fizician téoretician. El cercetează cu maximă rigurozitate modele voit simplificate ale fenomenului. Isaak Iakovlevici Pomeranciuk era preocupat de problemele şi teoria unor fenomene care să dezvăluie cele mai adânci proprietăţi ale lumii fizice. De aceea, lucrările sale erau tot timpul în avangarda ştiinţei, lakov Ilici Frenkel a exercitat o mare influenţă asupra dezvoltării multor domenii ale fizicii teoretice. El este autorul unui mare

număr de idei fizice, pe care le-a formulat, dar pe care nu le-a finalizat, limitându-se la examinarea calitativă a problemelor.

Cum e şi firesc, omul de ştiinţă care preferă, de exemplu metoda riguroasă, formal-matematică de cercetare, va atrage prin lucrările sale pe tinerii cu o formaţie matematică. Se constituie astfel un grup de oameni uniţi prin stilul lor general de cercetare şi prin problemele comune ce decurg de aici. Aşa apar şcolile ştiinţifice. Şi deşi reprezentanţii diferitelor şcoli consideră deseori stilul lor drept singurul corect, diversele direcţii se stimulează şi se completează reciproc. Spre deosebire de artă, în ştiinţă adevărul nu depinde de modul în care îl abordezi.

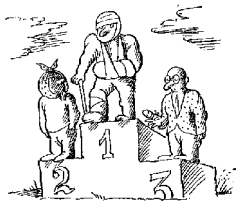
Literari „certe” şi „incerte”

Oare este obligatoriu ca cercetătorul să aibă un stil, să aparţină unei şcoli, oare cu timpul el se schimbă? Problemele alese şi modul de abordare se schimbă o dată cu creşterea calificării, cu perfecţionarea tehnicii şi cu îmbogăţirea experienţei omului de ştiinţă. La începutul drumului în ştiinţă, este bine să eviţi lucrările insuficient conturate şi problematice. Trebuie mai întâi să acumulezi experienţă şi să-ţi însuşeşti tehnica rezolvând probleme nu prea complicate. Este îndeobşte cunoscut că o lucrare care „a ieşit”, caro a fost dusă la bun sfârşit, contribuie mult mai mult la formarea cercetătorului ştiinţific decât zece lucrări abandonate la jumătate, din cauza unor dificultăţi insurmontabile. Trebuie început cu lucrări „sigure”, care nu reclamă introducerea unor presupuneri nedèmonstrate sau nedemonstrabile, ci sunt consecinţe ale unor rezultate anterioare. Un cercetător începător n-are dreptul la lucrări greşite.

Dar, pe măsură ce se acumulează experienţă şi numărul de lucrări duse la bun sfârşit creşte, atitudinea faţă de lucrările „incerte” trebuie să se schimbe.

Se cuvine oare ca un om de ştiinţă care se respectă să se mândrească pentru că n-a făcut niciodată lucrări eronate? Nu e vorba de greşeli grosolane, adică de calcule incorecte, sau de folosirea de recipiente murdare. Asemenea greşeli grosolane sunt o adevărată ruşine şi trebuie tratate ca atare. Mă refer la presupunerile plauzibile dar nefundamentate, a căror incorectitudine este pusă în evidenţă numai de dezvoltarea ştiinţei. Absenţa lucrărilor greşite atestă, pe de o parte, înalta corectitudine ştiinţifică şi intuiţia omului de ştiinţă, iar pe de altă parte, poate atesta lipsa de perspectivă şi de curaj. Nu

poate fi un bun schior, sau un bun motociclist cel care n-a căzut niciodată, care deci nu a ajuns la limita posibilităţilor sale. De fapt, tocmai lucrările „incerte”, atunci când sunt confirmate de dezvoltarea ştiinţei, devin şi cele mai interesante, deoarece permit verificarea presus punerilor de la care au pornit.

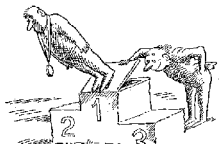


Dimpotrivă, lucrările absolut certe, care decurg nemijlocit din rezultatele obţinute anterior, adesea nu contribuie la progresul substanţial al ştiinţei. Aici trebuie avut în vedere şi raportul dintre teorie şi experiment, care provoacă multe dispute între fizicienii teoreticieni şi fizicienii experimentatori. Concordanţa dintre teorie şi experiment-nu este unicul criteriu – şi nici măcar principalul criteriu – de apreciere a teoriei. O lucrare teoretică bună este o concluzie convingătoare a cuceririlor precedente ale ştiinţei, obţinute ca rezultat al unui număr uriaş de experimente verificate de mai multe ori. Dacă o lucrare teoretică bună nu concordă cu experienţa, aceasta înseamnă că trebuie reconsiderate presupunerile care stau la baza ei, şi că s-a produs o anumită descoperire, de mai mică, sau mai mare importanţă. Dar concordanţa unei teorii greşite cu experienţa nu face de loc teoria mai convingătoare. Calitatea teoriei poate fi judecată după cât de convingător şi de necontradictoriu este alcătuită.

Teoriile „incerte”, dar convingător formulate, influenţează dezvoltarea ştiinţei chiar şi atunci când presupunerile pe care se bazează se dovedesc până la urmă eronate. Aş dori să evoc aici o lucrare interesantă a regretatului acade mician I.E. Tamm, care a influenţat puternic fizica particulelor elementare. Pe vremea aceea – era în 1934 – de-abia apăruse teoria dezintegrării beta, propusă de Enrico Fermi. Această teorie indica mecanismul transformării neutronului în proton cu emiterea unui electron şi a unui neutrino. Bazându-se pe acest mecanism, Tamm a construit teoria forţelor nucleare, adică a forţelor care ţin legaţi nucleonii – neutronii şi protonii – în nucleu. Ideea lui fundamentală era că unul dintre nucleoni emite un electron şi un neutrino, iar altul absoarbe aceste două particule. Dezvoltarea ştiinţei a

demonstrat că schimbul de electroni şi de neutrini nu influenţează aproape de loc forţele nucleare. Forţele nucleare sunt condiţionate, ca în teoria lui Tamm, de faptul că nucleonii schimbă particule între ei, numai că particulele sunt altele, fiind descoperite mai târziu. Una dintre ele este mezonul tt. Presupunerea de la care a pornit teoria n-a fost deci confirmată. Cu toate acestea, ideea că forţele nucleare sunt legate de emisia şi absorbţia de particule de către nucleoni s-a dovedit nu numai corectă, ci şi foarte fertilă. Ea a fost dezvoltată de Hideki Yukawa într-o lucrare din 1935, în care el explica forţele nucleare prin schimbul de particule ce interacţionează tare cu nucleonii. În felul acesta, el a prevăzut existenţa pionilor cu 14 ani înainte de descoperirea lor.

Fiecare cercetător trebuie din timp în timp să-şi pună întrebarea: de ce un altul a făcut pentru ştiinţă mai mult decât mine, deşi nivelul meu de înţelegere şi tehnica mea matematică nu sunt mai prejos? Răspunsul este adeseori unul singur: celălalt duce la bun sfârşit lucrări „incerte8, în timp ce eforturile mele se cheltuiesc numai în lucrări „certe



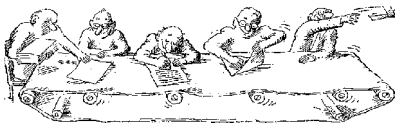
Stilul la sfârşiuil secolului al XX-ha

Am vorbit despre schimbarea stilului de muncă pe măr sura acumulării experienţei şi creşterii calificării. Dar mult mai mari sunt schimbările de stil determinate de evoluţia ştiinţei înseşi, în perioadele calme ale dezvoltării ştiinţei, se impune elaborarea unor lucrări metodice, în care să se precizeze rezultatele şi să se pregătească aparatele pentru cercetările următoare, sau chiar pentru noi descoperiri. De îndată însă ce s-a făcut o descoperire majoră şi a început o perioadă furtunoasă, devine importantă nu perfecţionarea metodicii, ci obţinerea de rezultate noi, chiar şi prin procedee mai aproximative, mai puţin fundamentate.

În a doua jumătate a secolului nostru, stilul de muncă al fizicienilor teoreticieni s-a modificat în mod esenţial, deşi s-ar părea că nu toţi fizicienii au tras din acest fapt concluziile necesare.

În fizica teoretică apare un nou tip de organizare a ştiinţei, care ar putea fi numit „creierul colectiv”. Să admitem că după analiza experimentelor acumulate, sau după o anumită descoperire experimentală, apare o problemă importantă şi complexă care nu poate fi biruită de un singur om. Pentru rezolvarea unor asemenea probleme, s-a elaborat tactica muncii colective.

Unii cercetători cu o structură psihică adecvată încep să producă idei – orice fel de idei, corecte sau incorecte, după metoda „visării cu ochii deschişi”. Pe baza acestor idei, se încearcă explicarea parţială a fenomenului studiat. Aceste lucrări neterminate sunt publicate sub formă de preprinturi (preliminarii) după zece-douăzeci de zile. Apoi, o dată la două-trei luni, se organizează conferinţe restrînse,



la care se analizează informaţia acumulată. Fizicienii cu simţ critic atrag cu această ocazie atenţia asupra locurilor vulnerabile. Discuţiile ajută să se selecteze ideile raţionale, între conferinţe, fizicieni de Înaltă calificare indică direcţia viitoarelor cercetări teoretice şi experimentale. O dată pe an, în cadrul unei conferinţe mai largi, se face bilanţul activităţii. Ca şi în cazul mutaţiilor, ideile iniţiale sau se fixează, sau duc la moartea teoriei. Conferinţele îndeplinesc rolul mecanismului „selecţiei naturale”. O astfel de diviziune sponr tana a muncii poate face ca o idee emisă de un tânăr absolvent să fie în centrul atenţiei întregii conferinţe. La examinarea următoarei probleme, acelaşi tânăr poate fi în rândul fizicienilor care fac analiza critică.

Cu ajutorul acestei metode au fost şi sunt studiate unele dintre cele mai importante probleme ale fizicii particulelor elementare. Menţionăm, fără a intra în amănunte: simetria SU (3), quarcii, monopoli!…

Nu destramă oare fizica secolului al XX-lea poezia cercetării? Nu. Rolul cercetării individuale scade, dar se naşte un romantism nou, cel al cercetării colective.

Rolul maşinilor de calcul

O dată cu apariţia maşinilor de calcul, s-a produs şi o altă schimbare esenţială în stilul fizicii teoretice.

Pe vremuri, o problemă se considera rezolvată, dacă soluţia se prezenta sub forma unei combinaţii de funcţii „elementare” cunoscute. Acest fapt se-ntâmplă foarte rar, iar cazurile respective s-au epuizat foarte repede. Mai târziu, s-a considerat suficient să se prezinte rezultatul sub formă de funcţii special determinate pentru un anumit grup de probleme, aşa-numitele „funcţii speciale”. Totuşi, cerinţele ştiinţei n-au fost satisfăcute. Au apărut metodele aproximative. Soluţia se reprezintă sub forma unei serii infinite, fiecare termen conţinând funcţii cunoscute. Pentru a folosi această soluţie, trebuie ca primii termeni să dea un rezultat de o precizie acceptabilă. Matematicienii spun: „trebuie ca seria să fie rapid convergentă”. Pentru ca termenii seriei să descrească rapid, ei trebuie să conţină puterile crescătoare ale unui parametru mic. (Parametrii sunt numerele a căror valoare determină condiţiile problemei). Din acest motiv, întrebarea pusă până nu de mult teoreticianului era: „Care este parametrul mic din problema d-tale?”. Deseori, această întrebare semnifică afirmaţia: Teoria d-tale este îndoielnică, întrucât nu conţine un parametru mic şi nu se înţelege ce rol joacă termenii neglijaţi din serie”.

Pentru rezolvarea unei probleme cu ajutorul calculatorului nu este nevoie de un parametru mic. Ce-i drept, soluţia nu este prezentată sub forma vreunei funcţii de parametri (forma analitică a soluţiei), ci se dă sub forma unor tabele numerice. În acest fel, soluţia nu se mai caută sub formă analitica; o dată cu apariţia maşinilor de calcul, interesul faţă de soluţiile analitice a scăzut, dar, aşa cum vom vedea, nu a dispărut.

Exemplul extrem al abordării calculatoristice a fost oferit de un strălucit reprezentant al stilului „maşinist”, fizicianul teoretician american Kenneth Wilson (Premiul Nobel în 1982). El a rezolvat la calculator aşa-numita „problemă Kondo”, după numele fizicianului japonez care a formulat-o. Trebuia explicată comportarea anomală la temperaturi joase a metalelor cu impurităţi atomice care au moment magnetic. Susceptibilitatea magnetică şi rezistenţa electrică la temperaturi foarte joase mai întâi cresc atunci când temperatura scade, după care tind către o limită finită. Cercetările teoretice au arătat că la micşorarea temperaturii, rolul interacţiunii electronilor metalului cu atomii impurităţilor devine atât de important, încât procedeele de calcul obişnuite, care presupun o interacţiune slabă, sunt complet inutilizabile. Sunt necesare noi metode care să nu mai comporte un parametru

mic. Asemenea metode au început să se dezvolte în mod intensiv sub influenţa problemelor apărute întâi în teoria particulelor elementare, apoi în fizica solidelor.

Cu toate acestea, încercările de a rezolva analitic problema nu dădeau rezultate. După o studiere profundă a problemei, Wilson a reuşit să o formuleze astfel, încât a devenit posibilă folosirea maşinii de calcul. Pentru aflarea susceptibilităţii magnetice la o temperatură dată, calculatorul are nevoie de numai câteva minute. Desigur că aceste „câteva minute" au devenit posibile după căutări îndelungate ale metodelor de simplificare a problemei. Fără aceste căutări, calculul ar fi fost imposibil, întrucât chiar şi calculatorul ar fi avut nevoie de secole. Se părea că problema este complet rezolvată. Între timp, rezolvarea „problemei Kondo" a căpătat o importanţă sporită pentru dezvoltarea fizicii teoretice. Tocmai din acest motiv, şi nu din necesitatea evaluării rezistenţei sau susceptibilităţii magnetice, problema capătă o valoare euristică deosebită. Iată de ce fizicienii au întâmpinat cu atâta emoţie lucrarea strălucită a tânărului teoretician sovietic Pavel Vigman care a reuşit să rezolve analitic „problema Kondo" şi în acelaşi timp să adâncească înţelegerea fenomenului.

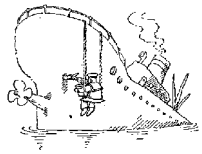
Să abordăm acum chestiunea limitelor utilizării calcur latoarelor în cercetarea ştiinţifică.

De ce teoreticianul care a obţinut un rezultat simplu printr-o metodă sigură, dar complicată, caută în mod obligatoriu un mijloc simplu de rezolvare pe care-l obţine „plimbând degetele pe claviatuară"? Pentru ca, în cazul unei alte probleme, unde se întâlneşte o situaţie similară, şi unde metoda complicată nu funcţionează, să poată folosi mijlocul mai simplu, bazat însă pe o înţelegere mult mai profundă.

În numeroase lucrări s-a încercat explicarea proprietăţilor nucleului considerându-l un gaz de neutroni şi de protoni aflaţi în interacţiune, aceasta din urmă fiind extrasă din analiza datelor de împrăştiere a nucleonului pe nucléon în vid. Interacţiunea este puternică, iar problema nu are un

parametru mic. Obiecţia parametrului mic este înlăturată prin folosirea calculatorului. Programul de calcul se poate îmbunătăţi atât de mult, încât problema este rezolvată numeric, în absenţa parametrului mic. Dar, în acest caz, apare o greşeală grosolană: nu se ia în considerare posibilitatea apariţiei de noi grade de libertate colective în nucleu (gradul pionic de libertate, condensarea pionică – vezi ultimul capitol). Posibilitatea unor astfel de fenomene neaşteptate trebuie luată în considerare la programare, dar pentru aceasta este necesară o rezolvare analitică preliminară, fie chiar şi una mai aproximativă.

Aşa dar, concluzia este clară: înainte de a te folosi de calr culator, problema trebuie studiată multilateral, cu metode analitice. Metodele analitice sunt arme vechi, dar de temut, şi nu-şi pierd nicidecum însemnătatea.



Bunul simţ

De obicei, în lucrările ştiinţifice şi mai ales în manuale, se înlătură cu grijă „schela” folosită la construirea clădirii. Modul în care au fost obţinute rezultatele şi cum au fost înlăturate obstacolele rămân necunoscute. Este însă esenţial să se descrie detaliat raţionamentele, succesele şi retragerile, încercările de abordare a subiectului din diverse per-, spective, căci toate sunt de un real folos pentru începători. Mai mult, expunând rezultatele finale fără a explica în ce fel s-au obţinut, începătorii pot fi complexaţi, sau pot crede că pentru a te ocupa de ştiinţă nu este suficient să faci raţionamente valabile, ci trebuie să fii dotat cu un intelect deosebit, care să îţi permită să ajungi prin salturi la concluzii neaşteptate. Din fericire, nu este aşa.

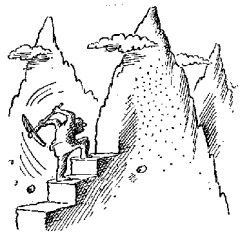
Intelectul este un dat. Instrumentul de lucru pentru profesia ştiinţifică este, alături de intuiţie şi fantezie, acel bun simţ după care se călăuzeşte orice gospodină când face cumpărături. Fermi punea fizicienilor începători întrebări neaşteptate, cum ar fi: câţi acordori de piane sunt în Chicago? După cifra dată de cel întrebat se poate aprecia dacă el posedă sau nu ceea ce se numeşte

bunul simţ.

Înţelegerea problemelor, chiar şi a celor mai complicate şi mai puţin studiate, nu este rezultatul unei ilumânări bruşte, venite de sus, ci rezultatul unei munci susţinute.

Din acest motiv, cu toate că eforturile conştiente alternează cu cele sub conştiente şi s-ar părea că intervine şi elementul nedeterminat al intuiţiei, în activitatea ştiinţifică rezultatele sunt proporţionale cu munca depusă, cu timpul cheltuit.

Bunul simţ te ajută să-ţi organizezi munca, să-ţi alegi metoda de lucru, în aşa fel încât să se facă numai salturi miei. Orice problemă complicată trebuie redusă la o serie de probleme mult mai uşoare. În felul acesta, înaintarea. Către rezultat se reduce la depăşirea succesivă a greutăţilor relativ mai mici, este o înaintare pas cu pas.



Cum se procedează? În primul îind, se simplifică problema la maximum, astfel încât să-i rămână numai trăsăturile esenţiale. Este incomparabil mai uşor să complici treptat o problemă, decât să rezolui ab initio o problemă complicată. Apoi se clarifică posibilităţile de rezolvare a problemei în cazurile ei particulare-limită. În plus, înainte de a încerca obţinerea rezolvărilor cantitative, trebuie găsite rezultatele mai aproximative, calitative, ceea ce este considerabil mai uşor. În sfârşit, trebuie ca în fiecare etapă să se încerce contestarea rezultatului, folosind pentru aceasta toate relaţiile cunoscute, la care, în cazuri particulare, se reduce rezultatul obţinut.

Se mai impune şi verificarea structurii logice a rezultatul lui. Decurge el oare din presupunerile făcute? Nu contrazice oare vreun principiu care să fi fost încălcat pe neobservate, în procesul deducerii? Foarte frecvent, rezultatul se aplică şi în cazul unor condiţii mai largi decât cele folosite la deducerea lui. Exprimat matematic, rezultatul poate fi uneori prelungit analitic dincolo de limitele presupunerilor făcute.

Oare rezultatul nu s-a obţinut prea uşor? Căci există, desigur, un fel de

„lege a conservării dificultăţilor”. Dacă într-o anumită abordare apar dificultăţi de principiu în calea rezolvării problemei date, atunci de regulă ele trebuie să apară la orice altă încercare. Să presupunem că s-a conceput un mod ingenios de a ocoli dificultatea. În acest caz nu trebuie să ne liniştim, ci să ’vedem de ce au dispărut dificultăţile. De obicei, la o analiză atentă, ori reuşim să rezolvăm problema şi prin metoda directă, ori descoperim eroarea făcută în încercarea de a ocoli dificultatea.

Şi, în sfârşit, soluţia este oare destul de frumoasă? Uneori, există şi semne exterioare ale frumuseţii. Dacă într-o formulă întâlnim factori numerici foarte mari sau extrem de mici, ea nu arată frumos. O formulă cu factori numerici abs surzi, trebuie să fie suspectă de o greşeală. Foarte des, ex presiile „urâte” se dovedesc a fi greşite. Nu este frumos nici dacă într-o formulă există mulţi coeficienţi nedeterminaţi teoretic, care trebuie găsiţi prin compararea cu experimentul. Simţul frumosului este greu de redat fără exemple complicate. Câteodată, frumuseţea exterioară constă în faptul că expresia are o formă simplă şi încântă ochii.

Unul dintre indiciile procedeelor corecte este simplificarea expresiilor intermediare complicate, ceea ce simplifică şi rezultatul final, dându-i un aspect frumos. Un fizician spurnea: „Expresiile corecte au tendinţa să se simplifice”.

Dar mult mai importante sunt indiciile ascunse ale frumuseţii. Este frumoasă expresia care leagă într-o formă simplă fenomene diferite, dacă stabileşte legături neastéptate... Una dintre cele mai frumoase formule ale fizicii teoretice este formula teoriei gravitaţiei a lui Einstein care leagă raza de curbură a spaţiului de densitatea materiei. Sau ecuaţiile lui Maxwell, în care sunt conţinute în formă compactă informaţii despre toate fenomenele electrice şi mag netice... Condiţia frumuseţii, nefiind absolută, permite găsirea şi verificarea rezultatelor şi descoperirea de noi legi ale naturii.

Dar despre acestea vom mai vorbi.

„Nu dau” sfaturi, totuşi, voi spune că...” (dintr-o convorbire cu un prieten)

Iată, după părerea mea, succesiunea demersurilor în fizica teoretică, şi, poate, nu numai aici. (în legătură cu aceasta, recomand cititorilor admirabila carte a lui G. Pólyai *Cum rezolvăm o problemă*?) Este bine să începi prin a încerca să rezolui o problemă înainte de a-i studia bibliografia. O primă

cunoştinţă cu problema, fără idei preconcepute, dictate de lucrări anterioare, primele evaluări calitative ale ordinelor de mărime pentru mărimile aşteptate, primele căutări ale căilor de rezolvare, determină în multe privinţe mersul ulterior al lucrării. Se creează o atitudine activă faţă de studierea bibliografiei (al doilea stadiu al lucrării). Studiul pentru acumulare este întotdeauna mai puţin eficient decât studiul dirijat către un scop, privit sub un anume unghi. După această etapă, sau chiar concomitent, se clarifică şi limitările impuse rezultatului final de principiile generale ale fizicii teoretice, de exemplu de legile de conservare. Mai departe, se impune tentativa unei soluţii calitative aproxima tive, pentru diferite valori ale parametrilor problemei. Ur mează încercarea de a găsi o soluţie cantitativă pentru cazurile limită, cu acele valori ale parametrilor pentru care are loc o simplificare esenţială. Apoi survine probabil cea mai importantă şi cea mai dificilă parte a lucrării: rezultatele obţinute sunt analizate şi criticate prin toate metodele despre care am vorbit. Dacă toate rezultatele rămân în picioare, se poate întreprinde şi ultimul efort – obţinerea rezultatului cantitativ pe cale analitică sau cu ajutorul maşinilor de caln cui. Şi, desigur, în toate stadiile, se impune ca lucrarea să fie dezbătută cu toţi cei care se ocupă de ea, sau de probleme înrudite. Lucrarea este gata când este publicată. Manuscrisul pregătit pentru tipar trebuie „pus la păstrat' un timp şi apoi recitit. Durata acestei perioade rămâne la aprecierea autorului.

Câteodată greşeala se vede dintr-o dată

Ce rigori impun soluţionării unei probleme teoremele ge nerale ale fizicii teoretice?

Într-o zi însorită de iarnă, un grup numeros de schiori se prăjea la soare pe vârful Kohta, la Bakuriani. Tinerii se bucurau şi erau uimiţi de culoarea albastră a cerului. Unul dintre ei a spus: „Culoarea albastră a cerului se explică prin legea lui Rayleigh, conform căreia difuzia luminii este proporţională cu puterea a treia a frecvenţei, iar lumina albas-, tră, având frecvenţă mai mare, difuzează mai puternicca fizician, n-am putut să rabd. „Difuzia luminii este un fenomen reversibil şi deci nu poate conţine termeni cu puteri impare ale frecvenţei, iar legea lui Rayleigh conţine, nu puterea a treia, ci puterea a patra a frecvenţei. Dacă am ad-l mite în difuzie o putere impară a frecvenţei, am încălca legea reversibilităţii în timp a fenomenelor naturii şi

deci, întreaga termodinamică… Intervenţia aceasta mi-a ridicat mult pres tigiul, destul de şifonat de nepriceperea mea la schi alpin.

O asemenea teoremă există efectiv: în afară de interac ţiunile slabe, despre care vom vorbi ceva mai târziu, toate ecuaţiile fizicii şi prin urmare, şi toate îenomenele naturii descrise de ele nu se modifică la schimbarea semnului timpului, au acelaşi aspect, indiferent dacă sunt privite din trecut spre viitor, sau din viitor spre trecut. Din această proprietate rezultă că mărimile reversibile pot fi numai funcţii pare de frecvenţă.

Analiza logica

Ca exemplu de analiză logică a structurii unei demonstraţii vom examina demonstraţia teoretică a faptului că toate corpurile cad cu aceeaşi viteză.

Demonstraţia a fost efectuată de Galilei în celebra sa carte *Dialoguri şi demonstraţii matematice privind două noi ramuri ale ştiinţei* (1638). Re’spingând afirmaţia lui Aristotele după care corpurile mai grele cad cu o viteză mai mare, Galilei face următoarele raţionamente: să presupunem că Aristotel are dreptate şi că un corp greu cade mai repede. Să legăm două corpuri, unul greu şi altul uşor. Tinzând să cadă mai repede, corpul greu îl va accelera pe cel uşor, iar cel uşor, tinzând să cadă mai încet, îl va frâna pe primul. Din acest motiv, cele două corpuri legate trebuie să cadă cu o viteză intermediară. Dar ele sunt mai grele decât fiecare în parte şi se vor mişca deci nu cu o viteză intermediară, ci cu o viteză mai mare decât viteza celui mai greu. Astfel a apărut o contradicţie, deci ipoteza era incorectă.

La fel poate duce la o contradicţie şi ipoteza inversă, după care corpurile uşoare cad mai repede decât cele grele. Se poate repeta raţionamentul şi legând două corpuri identice. Ele nici nu se accelerează unul pe altul şi nici nu se încetinesc şi trebuie să se mişte cu viteza fiecăruia dintre ele; prin urmare, corpul cu greutatea dublă se mişcă cu aceeaşi viteză. Deci, toate corpurile cad cu aceeaşi viteză.

Acum trebuie să medităm. La prima vedere, avem de-a face cu o demonstraţie strict logică a faptului că toate corpurile cad cu aceeaşi viteză.

Dar, pe de altă parte, această concluzie nu poate fi obţinută pe cale speculativă, fără a apela la nişte fapte experimentale. Întrebuinţând limbajul contemporan, se poate afirma că în demonstraţie este într-un anume fel folosită informaţia obţinută din experienţele lui Galilei, în decursul cărora se constatase căderea cu aceeaşi viteză a corpurilor de greutăţi diferite.

Deocamdată nu înţelegem structura logică a acestei demonstraţii şi deci nu suntem convinşi de corectitudinea ei.

Întrucât presupunerea conform căreia corpurile cu greus tate mai mare cad cu viteză mai mare este acceptabilă logic, avem dreptul să folosim raţionamentul lui Galilei, ca să stabilim ce fapte contrazice el. În acest caz, alăturarea unui corp mic la unul mare nu trebuie să-l încetinească, ci să-l accelereze, deoarece corpul obţinut prin alăturare trebuie să cadă cu viteză şi mai mare. Pe de altă parte, dacă două corpuri sunt legate cu un fir lung şi subţire, ele vor avea tendinţa să se mişte ca şi când ar fi independente, corpul mai greu tinzând să cadă mai repede, iar cel uşor frânându-l. Dar prin alăturare corpul mai mic trebuie să-l accelereze pe cel mare. Aceasta înseamnă că viteza de cădere a corpurilor depinde de cât de puternic sau de slab sunt legate cele două corpuri.

Din experimentele de cântărire se ştie că greutatea unui corp este egală cu suma greutăţilor părţilor din care este constituit, independent de modul în care sunt legate acestea între ele. Prin urmare, deşi greutatea corpului obţinut prin asocierea mai multor corpuri nu depinde de modul lor de legare, potrivit supoziţiei noastre, viteza de cădere ar fi totuşi dependentă de această circumstanţă. Aceasta însă contrazice toate experienţele lui Galilei privitoare la căderea corpurilor pe planurle înclinate, care au stabilit că viteza de cădere este determinată în mod univoc de forţă şi prin urmare nu depinde de modul în care sunt legate între ele părţile. Aşa dar, demonstraţia lui Galilei nu este o construcţie pur logică, ea conţine şi fapte experimentale ale timpului respectiv.

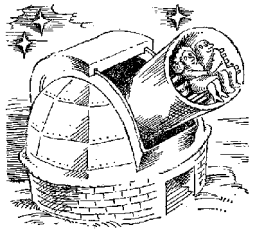
În încheiere, să încercăm să folosim în demonstraţie ideea simplificării extreme.

Forţa motrice în ştiinţă nu trebuie să fie dorinţa de a săvârşi o cotitură, sau de a obţine un succes, ci curiozitatea, capacitatea de a te uimi şi de a te bucura de fiecare succes cât de mic şi, mai ales, să simţi frumuseţea ştiinţei. Este necesar să-ţi educi o conştiinciozitate ireproşabilă şi să ai capacitatea de

a reduce orice problemă, oricât ar fi de complicată, la simplitatea şi claritatea extreme. Trebuie să ai capacitatea de a ieşi dintr-o mulţime de contradicţii psihologice. Să te conduci după intuiţie, dar să nu te bazezi pe ea. Să fii conştient de toate greutăţile, dar să ştii din când în când să te detaşezi de ele. Să crezi în rezultat, dar să-i cauţi în acelaşi timp dovezile contrare. Să-ţi găseşti un stil propriu de lucru, dar să ţi-l schimbi pe măsura acumulării experienţei şi o dată cu fiecare mare descoperire. Pe scurt, trebuie înţeles totul „până la fundament, până la rădăcină, până la esenţă" cum spunea Pasternak.

Versurile încep cu cuvintele „în toate-aş vrea să merg până la esenţă. În muncă, în căutarea drumului, în sentimente…"

Fie ca aceste versuri să le slujească drept călăuză celor care s-au decis să se consacre ştiinţei.



DESPRE FRUMUSEŢEA ŞTIINŢEI

Nu este de mirare că adevărul este minunat, căci adevărul reflectă frumuseţea şi armonia Universului. Mai mult, ceea ce este frumos se dovedeşte deseori a fi şi adevărat. Când un matematician sau un fizician reuşeşte o construcţie elegantă, aproape întotdeauna aceasta fie rezolvă problema pusă, fie devine utilă unor probleme viitoare. Vom ilustra situaţia prin exemplul uneia dintre direcţiile principale ale fizicii contemporane – căutarea simetriilor spaţiului şi a simetriei interne a particulelor elementare. Dar mai întâi trebuie înţeles ce este frumuseţea în ştiinţă şi cum anume, căutând frumuseţea, ne apropiem de cunoaşterea naturii.

În căutarea frumuseţii

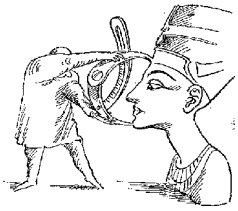
Oricât ar vrea viaţa să ne-nveţe, Tot de minuni ni-e cugetul convins: Există o nepieritoare frumuseţe Şi-o forţă ce renaşte de ne-nvins.

F. Tiutcev

Ne putem oare mărgini la frumuseţea exterioară, sau trebuie căutată şi frumuseţea mai adâncă, purtătoare de semnificaţii mai profunde? În ce constă frumuseţea construcţiilor logice? Cele mai importante direcţii ale fizicii secolului al XX-lea sunt căutările pentru descoperirea simetriei şi pentru revelarea unităţii lumii.

Algebra şi armonia

Ce este frumuseţea? Deseori, considerăm frumos tot ceea ce corespunde normelor şi idealurilor vremii noastre. Fiecare epocă are însă idealurile şi modele sale. Dar există şi o frumuseţe nepieritoare, fără bătrâneţe, la care omenirea trebuie să se întoarcă. Niciodată nu vom înceta să ne bucurăm de proporţiile Parthenonului, de armonia şi unitatea cu natura a bisericii Sfântului Giulgiu de pe Nerli... Mă întristez ori de câte ori aud fraza „Gusturile nu se discutănu sunt de acorda



Oslo uimitor cât de mulţi oameni apreciază la fel frumu setea. Şi se mai poate adăuga un lucru: toţi cei care nu fac parte din această majoritate, nu sunt unanimi în părerile lor. Aşa se poate demonstra obiectivitatea noţiunii de frumos.

Ne putem oare mărgini la* perceperea exterioară a frumuseţii? O putem aprecia oare măsurând cu o riglă gradată raportul dimensiunilor? Dincolo de frumuseţea pur exterioară a unui chip, noi căutăm însă frumuseţea spirituală, nobleţea şi tensiunea gândurilor.

Atât în arta figurativă, cât şi în cea nonfigurativă, importanţa unei opere este determinată de măsura în care depăşeşte ea cadrul unei receptivităţi exterioare, de profunzimea armoniei părţilor ce o compun.

Regretatul meu prieten, sculptorul Aleksei Zelenski spunea: „Când merg cu metroul privesc picioarele celor care stau jos. Pe urmă, îmi ridic privirea şi constat: acesta-i deci capul! Numai după ce ai înţeles de ce omul cu un astfel de cap are asemenea picioare, poţi să faci un, portret”. Valeri Briusov scria: „Există legături subtile, puternice între aspectul şi mirosul unei flori”. Această interacţiune a părţilor uneori încântă privirea, ca în *Sărutul* lui Rodin, în picturile lui Rafael sau Watteau, dar poate fi şi tensionată şi tragică, ca la „Sclavii” lui Michelangelo, sau în picturile lui El Greco şi Goya.

Iată ce scria Osip Mandelştam:

O, însă cât eşti de măreaţă, tu, citadelă

Enorme, coastele-ţi le-am învăţat pe dinafară,

Gândindu-mă adesea că: dintr-o potrivnică povară,

Şi eu cândva am să adaug, la frumuseţe, poate, un dram[30]a în dicţionarul Larousse, frumosul este definit drept ceea ce „ne încântă ochii sau mintea”.

Vorbim deseori despre frumuseţea muzicii lui Mozart, sau a versurilor lui Puşkin, dar ce putem spune oare despre frumuseţea* ştiinţei, a construcţiilor mentale impsibil de desenat pe hârtie, de sculptat în piatră, sau de transpus pe note?’

Ca şi în cazul artei, frumuseţea ştiinţei se defineşte prin potrivirea şi legătura reciprocă dintre părţile care formează un întreg; ea reflectă. Armonia lumii înconjurătoare.

Iată ce spunea Henri Poincaré în cartea sa *Ştiinţa şi metodă*: „Dacă natura n-ar fi atât de minunată, nici n-ar merita s-o cunoaştem, iar viaţa n-ar merita să fie trăită. Am în vedere, desigur, nu frumuseţea care îţi sare în ochi (…), ci acea frumuseţe profundă, care se dezvăluie în armonia componentelor sale şi care este accesibilă numai raţiunii. Ea constituie solul fertil, cadrul pentru jocul culorilor şi e destinată să ne incînte simţurile. Fără acest suport, frumuseţea impresiilor trecătoare ar fi nedesăvârşită, ca tot ceea ce este lipsit de importanţă şi efemer. Dimpotrivă, frumuseţea intelectuală oferă satisfacţie prin sine însăşi”.

Frumuseţea construcţiilor logice

---

30 Osip Mandelştam, Silentium, Editura Univers, 1980. —■ Nota ir ad.

Frumuseţea despre care vorbeşte Poincaré nu este numai o reflectare a armoniei lumii materiale, ci şi o însuşire proprie construcţiilor logice. Logicul este unul dintre obiectele cunoaşterii, iar obiectivitatea sa este demonstrată de caracterul general obligatoriu al concluziilor logice. Frumuseţea logică este tot atât de obiectivă ca şi frumuseţea legilor fizicii. Se întâmplă deseori să constatăm că o teorie este „elegantă" chiar şi în cazul când predicţiile ei nu s-au confirmat experimental. Aici, prin „eleganţă" înţelegem ingeniozitatea argumentaţiei, stabilirea de legături neaşteptate, bogăţia şi importanţa concluziilor obţinute cu un minim de supoziţii plauzibile. Într-un cuvânt, este vorba despre tot ceea ce reflectă frumuseţea legilor raţiunii.

În forma ei cea mai pură, frumuseţea construcţiilor logice se dezvăluie în matematică. Astfel, matematica studiază toate geometriile posibile ale spaţiului cu un număr arbitrar, sau chiar infinit de dimensiuni. Valoarea matematică şi frumuseţea rezultatelor sunt independente de geometria care se aplică în lumea noastră tridimensională.

Unul dintre exemplele uimitoare de frumuseţe matematică este „algebra propoziţiilor" sau „algebra logicii", care permite să se analizeze legile şi posibilităţile concluziilor logice.

Ideea de a face raţionamente complicate folosind o succesiune de elemente simple, independente de natura obiectelor despre care este vorba, aparţine lui Aristotel. Ulterior, această idee a fost dezvoltată de Leibniz, care a încercat să dea logicii aristotelice o formă algebrică. Dar transformarea ei într-o teorie încheiată a trebuit să aştepte până la juma tatea secolului trecut (vezi N. Bourbaki[31], *Eseuri de istorie a matematicii*, Moscova, 1963).

Algebra obişnuită, care se predă în şcoală, nu este unica posibilă. Dacă veţi vedea deci o carte intitulată „Algebre Lie-, să nu credeţi că pluralul este o greşeală de tipar.

Noţiunile de adunare şi înmulţire a obiectelor se pot defini renunţând; la axiomele algebrei obişnuite, cum ar fi de exemplu comutativitatea înmulţirii, care stipulează că produsul nu depinde de ordinea factorilor. Se obţine astfel o altă algebră. În consecinţă, analiza relaţiilor din această algebră este determinată în întregime de axiomele adoptate cu privire la proprietăţile operaţiilor şi nu depinde de aplicarea ei concretă. „Eficienţa analizei nu

31 Pseudonim colectiv al unor matematicieni francezi, autorii unui ciclu de monografii de mare amploare consacrat matematicii moderne. — Nota trad.

depinde de interpretarea simbolurilor, ci exclusiv de legile după care se combină ele”. Aşa a sintetizat autorul cărţii „*Cercetare asupra legilor gândirii*”, George Boole, esenţa şi forţa abstracţiei matematice.

Boole a construit o algebră pe un sistem de axiome (sau, după cum spun matematicienii, a „cercetat structura” algebrei), care descrie proprietăţile propoziţiilor. Aceeaşi structură reprezintă totodată şi algebra circuitelor electrice cu relee, fără de care este imposibilă construirea vreunei maşini electronice de calcul cât de cât complexă. Numai pe baza unei logici asemănătoare celei matematice sau simbolice este posibilă abordarea unor probleme care frământă atât de mult omenirea, cum ar fi examinarea posibilităţilor de construcţie a unor maşini care gândesc şi dezvoltarea inteligenţei artificiale.

Elementele algebrei lui Boole sunt judecăţile simple, de genul „această carte are peste o sută de pagini” sau „protonul este compus din trei quarci”. Acestea se notează cu literele A, B, C... Două propoziţii se consideră echivalente dacă adevărul uneia implică adevărul celeilalte. De exemplu, dacă A este propoziţia „azi este 10 mai”, iar B este propoziţia „poimâine este 12 mai”, atunci A B.

H” Suma A B reprezintă o nouă propoziţie, care se obţine prin unirea lui A şi B cu conjuncţia „sau”, în sensul că este adevărată cel puţin una dintre ele, A sau B. Dacă A „te iubesc”, iar B „mă iubeşti”, atunci A B înseamnă ori „eu te iubese”, ori „tu mă iubeşti” –, ori „noi doi ne iubim”.

Pentru această operaţie folosim semnul plus, aşa cum procedează I.M. Iaglom în cartea *Structura algebrei Boole şi modelele ei* (Moscova, 1980).

Din exemplul oferit rezultă şi o altă deosebire între această algebră şi algebra şcolară: repetarea propoziţiei nu înseamnă o nouă afirmaţie. Deci A A A.

Definim produsul AB ca pe o nouă propoziţie obţinută prin asocierea lui A cu B prin conjuncţia „şi”. În exemplul nostru, C AB are următoarea semnificaţie „eu te iubesc şi tu mă iubeşti noi doi ne iubim” Atunci, A2 A. Nu e greu de obţinut relaţia ceva mai complexă.

AB C (A C) (B C).

Să introducem negaţia. A este negaţia lui A. Dacă A „electronul are masa mai mare decât protonul”, atunci A „electronul nu are masa mai mare decât protonul”.

— *1* zr

Atunci A A şi AA 0. Prin 0 trebuie înţeleasă o judecată falsă: electronul nu poate avea simultan o masă mai mare şi mai mică decât protonul.

Ne oprim aici: aceste câteva repere sunt suficiente pentru a înţelege în ce constă calculul propoziţiilor. Cei care sunt interesaţi, pot consulta cu folos cartea lui Iaglom.

Este interesant să urmărim soarta autorului acestei algebre uimitoare. George Boole (1815-1864) s-a născut în Anglia într-o familie săracă. El n-a urmat cursurile nici unei instituţii de învăţământ, cu excepţia claselor primare într-o şcoală pentru săraci. A învăţat singur elina şi latina şi la 12 ani semna în publicaţiile locale traduceri din Horaţiu. După ce multă vreme şi-a căutat o slujbă care să-i lase şi timp pentru învăţătură, Boole a deschis o mică şcoală, în care el era singurul profesor. Din fericire, doi matematicieni influenţi, D. Gregory, editorul unei reviste de matematică şi A. De Morgan, profesor la Universitatea Cambridge, au apreciat originalitatea şi profunzimea primelor lucrări ale lui Boole. În 1849, acesta a devenit profesor de matematică la colegiul din Cork (Irlanda). Aici s-a căsătorit cu Mary Everest, o rudă a lui Sir George Everest, preşedintele comitetului geodezic al Indiei, al cărui nume a fost atribuit celei mai mari înălţimi din Himalaia – Everest (Chomolungma). Una dintre fiicele lui Boole, Ethel Lilian, s-a căsătorit cu revoluţionarul polonez Voynich şi a devenit cunoscută ca autoare a romanului *Tăunul*. Cum se mai împletesc evenir mentele şi destinele!

În fizică frumuseţea construcţiei logice este de alt fel. În matematică, corectitudinea intuiţiei se verifică logic, în timp ce în fizică, ştiinţă care studiază lumea înconjurătoare, judecătorul suprem este experimentul. Totuşi nu este obligatoriu să se apeleze de fiecare dată la experiment pentru verificarea teoriei, căci de cele mai multe ori, teoria este con firmată sau infirmată prin analiza riguroasă a experimentelor, sau a relaţiilor care decurg din acestea. Demersurile teoretice din fizică trebuie să fie în concordanţă cu ceea ce ştim deja despre lumea înconjurătoare. În fizică, teoria nu este o concluzie logică a axiomelor, ci o construcţie edificată pe ipoteze plauzibile, care trebuie verificate. S-ar părea că acest edificiu are temelii şubrede, dar verigile slabe sunt permanent înlocuite cu unele mai puternice şi astfel el devine solid.

În capitolul *Cum lucrează fizicienii*, vor fi date multe exemple de felul în care se ajunge la ţintă prin metoda verificării probelor şi a greşelilor. Veţi vedea cât de puţine temeiuri avea de Broglie pentru ideea sa genială cu privire la proprietăţile ondulatorii ale particulelor, idee ce a pornit de la întrebarea: dacă lumina este şi undă şi particulă, de ce n-ar fi şi electronul în acelaşi timp şi undă şi particulă? Sau alt exemplu: ecuaţia Schrödinger a explicat în mod strălucit proprietăţile atomului, încă înainte ca, prin consideraţii vagi şi foarte subtile, să se ajungă la sensul fizic actual al funcţiei de undă.

Are farmecul ei, această bâjbâială în întuneric, unde ţi-e călăuză un al şaselea simţ!

Matematicianul nu poate privi decât cu indignare „cum însumează fizicianul serii infinite, presupunând că doi-trei termeni ai unei serii oferă o bună aproximaţie pentru toată seria, cum trăieşte în general într-un imperiu al libertăţii, încălcând orice «normă morală». Totodată, eficienţa «vrăjitoriei» fizicienilor… Îl lasă mut de uimire pe matematician”. Am citat din cartea lui I. I. Manin *Matematica şi fizica* (Moscova, 1979), Păcat că observaţiile profunde şi pline de spirit din această carte sunt adresate mai ales matematicienilor.

Eficacitatea metodelor intuitive ale fizicii explică înscripţia de pe căminul din casa lui Einstein „Dumnezeu este subtil, dar nu rău intenţionat”. Situaţiile deosebite, pe care un matematician este obligat să le ia în considerare când face o demonstraţie riguroasă, se întâlnesc rar în lumea reală: „infinitatea şi discontinuitatea sunt rezultatul unor formulări simplificate sau nereuşite. Într-o altă teorie, mai eiaborată, ne putem aştepta ca aceleaşi mărimi să fie finite şi continui pentru valori reale ale variabilelor. Şi atunci, matematicianul indignat va obţine pe o cale riguroasă o parte din relaţiile deja cunoscute fizicienilor.

În fizică, frumuseţea teoriei are o importanţă aproape determinantă, căci raţionamentele neverosimile devin îndeajuns de convingătoare pentru ca să se facă un experiment pentru verificarea ipotezelor. În capitolul următor, vom mai avea ocazia să facem comparaţie între căutarea adevărului în fizică şi în matematică. Cu toate deosebirile de metode şi de obiecte ale cunoaşterii, fizica nu se poate dispensa de limbajul matematic şi de aparatul matematic.

Desigur că nu toate ştiinţele naturii au nevoie de matematică în aceeaşi măsură ca fizica. În biologie principalul îl constituie procesele vitale, care nu

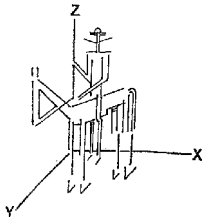
pot fi reduse la nişte caracteristici numerice. Ar putea fi matematizat numai acel aspect al fenomenelor biologice care este determinat de procese fizico-chimice. De altfel, într-un viitor apropiat s-ar putea să apară noi structuri matematice, care să permită formalizarea unor domenii mai profunde ale biologiei şi chiar ale artei.

Frumuseţea ascunsă

Nu e oare ciudat că studiind lumea relaţiilor logice, matematica ne permite să pătrundem în tainele lumii materiale? Frumuseţea fizicii se dezvăluie pe deplin numai cu ajutorul matematicii.

Teoria relativităţii a apărut în urma revizuirii profunde a noţiunilor de timp şi spaţiu. Aproape că nu a fost nevoiede matematică. Dar teoria dobândeşte o frumuseţe desăvârşită, dacă este privită ca o consecinţă a simetriei naturii faţă de rotaţiile din spaţiul evadridimensional, unde cea de-a patra dimensiune o constituie timpul. Cu toată profunzimea şi claritatea ideilor care le stau la bază, ecuaţiile teoriei gravitaţiei nici nu pot fi concepute fără descrierea mărimilor în spaţiul cu proprietăţi geometrice care se modifică de la un punct la altul.

Dinitri Ivanovici Mendeleev a descoperit o simetrie uimitoare a proprietăţilor chimice, dar adevărata frumuseţe a tabelului lui Mendeleev s-a relevat numai după apariţia mecanicii cuantice, când s-a descoperit natura acestei simetrii.



De ce oare simetria care explică independenţa energiei atomului de hidrogen faţă de momentul cinetic se poate pune în evidenţă, aşa după cum a arătat V.A. Fok, numai în spaţiul ajutător evadridimensional şi numai după nişte transformări complicate?

Care este motivul pentru care electrodinamica cuantică devine deosebit de frumoasă şi de simplă, dacă pozitronul se descrie ca un electron care se mişcă înapoi în timp, deşi, în realitate, orice obiect fizic se mişcă numai

înainte în timp? Acest fapt i-a dat dreptul eminentului fizician american John Wheeler să emită ideeă năstruşnică, dar frumoasă şi seducătoare, conform căreia toţi electronii şi pozitronii din lume sunt o proiecţie pe planul timpului – o secţiune momentană – a ghemului de mişcări înainte şi înapoi ale unui electron unic. În discursul rostit cu prilejul primirii premiului Nobel, Feynman a evocat discuţia cu Wheeler: „Feynman, eu ştiu de ce toţi electronii au aceeaşi masă şi aceeaşi sarcină!” „De ce?” „Pentru că de fapt toţi sunt unul şi acelaşi electron!”.

Dintr-un motiv anume, natura îşi ascunde o parte a frumuseţii de privirile insistente ale fizicienilor şi permite să fie întrezărită numai cu ajutorul celor mai complicate construcţii matematice. De ce este matematica un instrument atât de exact şi de neînlocuit, care dezvăluie frumuseţea ştiinţelor experimentale? Nu înseamnă oare aceasta că mai tematica nu studiază înmea construcţiilor logice numai pentru ea însăşi, ci, prin lumea logicii, toate realizările lumii mai terialej nu numai Universul nostru unic şi nu numai legile care îl guvernează, ci toate legile posibile care s-ar fi putut realiza în cazul altor condiţii iniţiale sau în alte universuri?

Frumuseţea construcţiilor logice din ştiinţă este analogă inspiraţiei din artă. Frumuseţea liniilor şi a culorilor din „Sf. Treime” a lui Rubliov este o metaforă genială a unităţii a trei persoane distincte; la Dostoïevski, tensiunea şi bogăţia trăirilor sufleteşti fac ca proza lui dură să fie singura por sibilă şi deci frumoasă.

Nu greşesc oare, comparând atât de stăruitor frumosul din ştiinţă cu cel din artă? În artă, fiecare operă este individuală şi irepetabilă. Figura lui Don Juan a fost prezentată de mai mulţi autori, printre care Molière, Byron, Puşkin, dar de fiecare în felul său. În ştiinţă însă, problema constă în găsirea unei legi a naturii, independentă de individualitatea omului de ştiinţă…

Şi, cu toate acestea, raţionalismul omului de ştiinţă se limitează la principiile cunoaşterii. Modul concret în care se întreprind căutările este întotdeauna individual. Adevărul poate fi stabilit printr-o multitudine de procedee. Ca şi în artă, forma de transpunere în viaţă a ideii reflectă bogăţia vieţii spirituale a autorului. Şi în ştiinţă se poate recunoaşte autorul unei lucrări după modul de abordare a problemei, după caracterul metodelor folosite, după ingenipzitate. Atunci când un om de ştiinţă valoros rezolvă fie şi o problemă mai modestă, metodele pe care le-a creat continuă să acţioneze şi

să se dezvolte în probleme mai importante.

Cum se manifestă frumuseţea în ştiinţă? Voi răspunde la întrebare mărginindu-mă la domeniul meu, la fizică. Întreaga ei istorie este constituită din căutarea simetriei şi unităţii lumii, adică din căutarea acelei frumuseţi ascunse la care m-am referit mai sus.

Simetria

De obicei, prin acest cuvânt înţelegem, ori simetria la reflexie, când jumătatea stângă a unui obiect este imaginea în oglindă a jumătăţii drepte, ori simetria centrală, ca semnul antic oriental „ying şi yang”, sau la elice. În această accepţie, simetria înseamnă invarianţa obiectului la reflexia în oglindă sau la rotaţia în jurul centrului. Dar, să-i restituim cuvântului semnificaţia sa iniţială, de „propeţrţionalitate şi vom înţelege prin aceasta invarianţa nu numai pentru obiectele însele, ci şi pentru fenomenele fizice şi nu numai la reflexie, ci şi în cazul unei operaţii oarecare. Un exemplu ar fi translatarea aparaturii dintr-un loc într-altul, sau schimbarea momentului de referinţă al timpului. Pentru verificarea simetriei la reflexie, de exemplu, se poate aranja experimentul cu’toate detaliile şi aparatele aşezate simetric – ca în oglindă faţă de experimentul precedent. Fenomenul este simetric la reflexie, dacă ambele instalaţii dau rezultate identice.

Să urmărim la început modul în care se manifestă cea mai simplă simetrie omogenitatea şi izotrópia (echivalenţa tuturor direcţiilor) spaţiului. Aceasta înseamnă că orice aparat fizic: ceasul, televizorul, telefonul, trebuie să funcţioneze identic în diferite puncte ale spaţiului, dacă nu se schimbă condiţiile fizice ale mediului. Acelaşi lucru este valabil şi pentru rotirea aparatului, dacă facem abstracţie de forţa de greutate, care, la suprafaţa Pământului, are direcţia verticală. Aceste proprietăţi remarcabile ale spaţiului au fost folosite încă din antichitate, atunci când se aplica în practică geometria euclidiană. Geometria, ca ştiinţă practică are, desigur, un sensnumai dacă proprietăţile figurilor geometrice nu se modifică la rotaţie, ele fiind aceleaşi şi în Grecia şi în Egipt.

Măsurătorile au arătat că teoremele de geometrie aplicate la obiectele fizice reale se verifică realmente cu o precizie colosală pentru corpuri de orice dimensiuni, în orice loc am întreprinde verificarea şi oricum am roti corpurile. O astfel de măsurătoare a fost efectuată de „regele matematicienilor”, Karl

Friederich Gauss, care a verificat dacă nu cumva geometria lumii noastre nu se deosebeşte în cazul dimensiunilor mari de cea euclidiană. El a folosit în acest scop vârfurile a trei munţi, determinând proprietăţile triunghiului astfel format. Astăzi ştim că la scara Universului şi în apropierea maselor mari, geometria se deosebeşte de cea euclidiană. Totuşi, corecţiile sunt dincolo de limitele de precizie ale măsurătorilor lui Gauss. Nu numai proprietăţile geometrice, dar, în general, toate fenomenele fizice nu depind de translaţii sau de rotaţii.

Aşadar, legile fizice trebuie să fie invariante faţă de translaţii şi rotaţii. Condiţia de invarianţă facilitează găsir rea ecuaţiilor fizicii, dându-le şi un aspect mai atrăgător.

O altă simetrie importantă este omogenitatea timpului. Toate procesele fizice decurg la fel, oricând ar începe: ierr azi, mâine…

Dacă o maşină funcţionează anul acesta altfel decât în trecut, aceasta înseamnă că i s-au uzat piesele, sau că s-au schimbat condiţiile de climă, sau că s-a întâmplat altceva, dar toate acestea nu sunt legate de abaterea de la mersul omogen al timpului.

Mersul timpului se determină prin viteza relativă a diferitelor procese din natură. Viteza unei nave cosmice poate fi comparată cu viteza luminii, sau cu viteza sunetului în aer. Mersul ceasului poate fi determinat cu ajutorul numărului de perioade de oscilaţie ale luminii emise de atom în timpul deplasării acului de ceas cu o diviziune. Orice măsurare a intervalelor de timp reprezintă o comparare a vitezei diferitelor procese.

Uniformitatea mersului timpului înseamnă că în orice moment, şi astăzi, şi peste un an, viteza relativă a tuturor proceselor din natură este aceeaşi.

Uniformitatea mersului timpului a. Fost stabilită cu o precizie colosală în cazul radiaţiilor atomului. Atomii din stele emit lumină cu aceleaşi lungimi de undă ca şi atomii de pe Pământ, chiar dacă lumina a fost emisă acum miliarde de ani.

Legile naturii nu se modifică nici atunci când se schimbă sensul

timpului. Aceasta înseamnă că o privire înapoi în timp ne relevă acelaşi tablou ca o privire înainte. Aşa să fie? Ni s-a întâmplat să vedem cum cade un ou de pe masă şi se sparge, dar n-am fost niciodată martorii întoarcerii albuşului şi gălbenuşului înapoi în coajă, ca mai apoi oul întreg să sară la lôc pe masă. Un vechi cântec englez spune că oul o dată spart, nu-l mai poate reface „nici toată cavaleria, nici toată oastea regelui”. Şi totuşi, moleculele pot să-şi armonizeze întâmplător mişcările, astfel încât improbabilul să aibă loc, cu toate că probabilitatea realizării este infimă, iar aşteptarea minunii ar dura mai mult decât vârsta Universului. În sistemele simple, astfel de evenimente au loc cu probabilitate mare; într-un volum redus, sub acţiunea ciocnirilor, moleculele gazului ba se adună, ba se răspândesc, astfel încât, în medie, densitatea lor este peste tot aceeaşi şi egală cu densitatea gazului.

Analiza profundă a fenomenelor de acest tip i-a dus pe fizicieni la concluzia că „reversibilitatea” timpului are loc nu numai în mecanică şi electrodinamică, unde este vizibilă direct din ecuaţii, ci şi în multe alte fenomene ale naturii. Deşi implică ireversibilitatea în intervale cosmologice de timp (de ordinul miliardelor de ani), expansiunea Universului nu influenţează în mod practic asupra experimentelor obişnuite de pe planeta noastră.

În afară de simetriile menţionate, mai există şi simetria la reflexie: un titirez care se învârteşte spre dreapta, se comportă la fel ca unul care se învârteşte spre stînga, singura deosebire fiind aceea că mişcările titirezului „drept” vor fi reflectarea în oglindă ale mişcărilor celui „stâng”. Există molecule asimetrice la reflexie, având între ele acelaşi raport ca mâna stângă şi cea dreaptă, dar, dacă moleculele se formează în condiţii identice, numărul moleculelor „stîngi” este egal cu numărul moleculelor „drepte”.

Simetria la reflexie a fenomenelor naturale este inexactă ca majoritatea celorlalte simetrii. În interacţiunile slabe, care sunt răspunzătoare de dezintegrarea radioactivă beta, simetria de reflexie este încălcată. Chiar şi în fenomenele care nu sunt legate de transformările radioactive, influenţa interacţiunilor slabe provoacă o mică abatere de la simetria la reflexie. Astfel, în atomi, imprecizia relativă a simetriei la reflexie este de ordinul a IO” ™15. Totuşi, influenţa acestei abateri infime asupra tranziţiilor între nivelele foarte apror piate nu este chiar atât de mică (fiind de ordinul a IO” ™3-IO-8), în 1964, un grup de fizicieni de la Institutul de fizică teoretică şi experimentală din Moscova a pus în evidenţă o mică abatere a forţelor nucleare de la

paritate, provocată de forţele slabe (I. Abov, \P. Krupeiţki, I. Oratovski). În 1966, fizicienii de la Institutul de fizică nucleară B.P. Konstantinov din Leningrad (V. Lobaşov, V. Nazarenko, L. Saenko,

L. Smotriţki, G. Harkevici) au determinat cu o altă metodă încălcarea parităţii. L. Barkov şi M. Zolotarev de la Institutul de fizică nucleară din Novosibirsk au reuşit să descopere acest fenomen în atom în 1978. În afară de aceasta, interacţiunile slabe duc de asemenea şi la o mică încălcare a reversibilităţii timpului.

Cea mai importantă simetrie, care a pătruns în întreaga fizică modernă, a fost descoperită la începutul secolului al XX-lea. Încă Galilei descoperise o proprietate remarcabilă a fenomenelor fizice şi anume că acestea nu depind de sistemul de coordonate în care sunt studiate, indiferent dacă sistemul este în repaus, ori în mişcare uniformă şi rectilinie.

În 1904, remarcabilul om de ştiinţă olandez, Hendrik Antoon Lorentz s-a convins că şi fenomenele electrodinamice, şi nu numai pentru corpurile care se mişcă lent, ci şi pentru cele care se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii, au proprietatea stabilită de Galilei. S-a clarificat totodată faptul că viteza corpurilor încărcate electric nu poate depăşi viteza luminii.

Într-o lucrare care a exercitat o influenţă imensă asupra fizicii teoretice, Henri Poincaré a arătat că rezultatele lui Lorentz semnifică invarianţa ecuaţiilor electrodinamicii faţă de rotaţiile din spaţiul-ţimp, adică din acel spaţiu în care, în afară de cele trei coordonate obişnuite, există încă una, cea temporală.

Dar pasul cel mai important a fost făcut de Einstein prin observaţia că simetria spaţio-temporală este universală şi că nu numai fenomenele electrodinamicii, ci şi celelalte fenomene ale naturii (fizice, chimice şi biologice) rămân neschimbate la rotaţii. Einstein a reuşit acest lucru după o reexaminare profundă – şi nu dintr-o dată înţeleasă de contemporani – a noţiunilor noastre obişnuite de spaţiu şi timp.

Cuvântul „rotaţiea trebuit pus între ghilimele, întrucât nu este vorba despre rotaţia obişnuită, în care se păstrează distanţa dintre două puncte, cum ar fi distanţa de la un anume punct la originea coordonatelor.

În spaţiul cu patru dimensiuni (cvadridimensional) despre care am amintit, pe cea de-a patra axă se aşază timpul t, înmulţit cu viteza luminii, e, iar „rotaţia” lasă neschimbată nu distanţa până la originea coordonatelor, ci

mărimea l2 x2 y2 z2 – c2t2 x? yf z? — c2 tr, unde x, y, z, *xlf yl9 zx* sunt coordonatele înainte şi după rotaţie. O astfel de „rotaţie” păstrează constantă viteza luminii în diferite sisteme de coordonate.

În acest fel, toate simetriile pe care le-am examinat până acum se unifică într-una singură, generală; toate fenomenele. Naturii sunt invariante la translaţii, rotaţii şi reflexii în spaţiul evadridimensional. Invarianţa la translaţie şi rotaţie din spaţiul obişnuit se obţine ca un caz particular, când translaţia nu modifică axa timpului, sau atunci când rotaţia are loc în jurul axei temporale.

Trebuie clarificată semnificaţia invarianţei fenomenelor naturii la rotaţii. Toate mărimile fizice se pot clasifica după modul în care se transformă la rotaţie. Există mărimi care nu se schimbă de loc, acestea se numesc „scalari”. Altele – vectorii se comportă ca un segment de dreaptă dus de la originea coordonatelor până într-un punct oarecare al spaţiului. La rotaţia sistemului de coordonate, lungimea vectorului nu se modifică, dar proiecţiile sale pe axele coordonatelor se schimbă după o lege cunoscută. Există şi mărimi care se schimbă într-un mod mai complicat, cum ar fi produsul a doi vectori. Aceste mărimi se numesc „tensoriale”.

În afară de mărimile vectoriale şi tensoriale, există şi altele, care se transformă la rotaţii tot într-un mod’determinat. Am ezitat să le amintesc, de teamă să nu-l înspăimânt pe cititor cu un cu vânt necunoscut; acestea din, urmă se numesc „spinoli”. Din spinori se poate alcătui o formă pătratică având proprietăţile de transformare ale unui vector, sau o altă formă, scalară, care nu se schimbă la rotaţii. Funcţia de undă a electronului se modifică la rotaţii ca un spinor, sau, mai concis, este un spinor. Deocamdată este suficient să ştim numai cuvântul, fără să-i dezvălui semnificaţia matematică. Invarianţa legilor sau a ecuaţiilor cere ca în toţi termenii ecuaţiilor – şi în partea stângă şi în partea dreaptă – să fie mărimi care se schimbă la fel la rotaţie.

Aşa cum este absurd să compari mărimi cu dimensiuni diferite, cum ar fi, de exemplu, timpul şi lungimea, sau masa şi viteza, este absurdă şi o ecuaţie în care partea stângă este un scalar, iar partea dreaptă, un vector.

Esenţa simetriei constă tocmai în această împărţire a mărimilor în scalari, vectori, tensori, spinori. Este clar cât de mult este înlesnită căutarea unei ecuaţii dacă se cere ca toţi termenii acesteia să se transforme în acelaşi fel.

În capitolul următor vom vedea cum ajută evaluările dir mensionale la găsirea unor relaţii fizice neaşteptate. Clasific carea mărimilor după schimbarea lor la rotaţie, sau la o altă operaţie oarecare, reprezintă pasul următor spre înţelegerea mai adâncă a naturii; păcat că programa şcolară se limitează doar la primul pas – dimensionalitatea mărimilor fizice.

Simetriilor examinate până acum le corespund operaţii care nu depind de punctele din spaţiu. În tot spaţiul are loc aceeaşi deplasare sau aceeaşi rotaţie. Astfel de simetrii se numesc „globale”. Se poate încerca găsirea unor ecuaţii şi se pot descrie legile naturii, astfel încât acestea din urmă să rămână invariante nu numai la deplasările globale şi la rotaţii, ci şi la deplasări şi rotaţii diferite în diferite puncte. O astfel de simetrie se numeşte „locală”.

Chiar de la aceste considerente a pornit Einstein pe când căuta celebrele ecuaţii ale gravitaţiei, care legau geometria spaţiului cu densitatea materiei. Ecuaţiile gravitaţiei apar ca o consecinţă a simetriei locale spaţio-temporale. Aceste ecuaţii au unificat mecanica şi gravitaţia; din ele, la viteze mici, se obţin ecuaţiile mecanicii newtoniene.

Noi am examinat până acum simetriile spaţio-temporale, sau, mai pe scurt, simetriile spaţiale.

În ultimul timp, aşa-numitele simetrii interne joacă un rol de cea mai mare importanţă în fizică. Una dintre aceste simetrii este „invarianţa de etalonare”. Nu voi da explicaţii prea complicate, ci voi aminti numai că această invarianţă asigură în speţă, corectitudinea unei legi atât de importante, cum este legea lui Coulomb. Până şi o mică încălcare a invarianţei de etalonare în electrodinamică este incompatibilă cu ceea ce ştim despre propagarea undelor radio din domeniul frecvenţelor mici.

Un alt exemplu de simetrie internă îl constituie „invarianţa izotopică a interacţiunilor tari”. Ea eiplică asemănarea dintre familii întregi de particule elementare, cum ar fi neutronul şi protonul. Generalizarea acestei simetrii a îndrumat fizica spre descoperirea quarcilor – particulele din care sunt alcătuite toate particulele care interacţionează tare-hadronii – aşa cum sunt neutronul, protonul, mezonul pi, considerate înainte drept elementare.

În cele ce urmează, mă voi referi mai amănunţit la simetriile interne şi la alte simetrii. Vom vedea că legile de conservare (legea conservării energiei, a impulsului, sau a sarcinii) se obţin ca o consecinţă riguroasă a diferitelor simetrii.

Natura nu suporta simetriile exacte

Majoritatea simetriilor apar în urma unei oarecare idealizări a problemei. Luarea în considerare a influenţei interacţiunilor mai complicate duce la încălcarea simetriei. De exemplu, independenţa energiei atomului de hidrogen faţă de momentul cinetic orbital devine inexactă, fiind uşor încălcată, dacă se introduc corecţiile relativiste la mişcarea electronului. Chiar şi legile de conservare legate de simetria spaţială sunt încălcate, extrem de puţin, dar sunt încălcate din cauza neomogenităţii Universului în timp şi spaţiu.

Dar există o încălcare mult mai importantă a simetriilor, numită „spontană”. Exemple de astfel de încălcări de simetrii se întâlnesc la tot pasul, în viaţa de zi cu zi. O picătură de apă pe masă este un exemplu de încălcare a simetriei, întrucât interacţiunea moleculelor de apă între ele şi cu moleculele mesei admite şi o soluţie mult mai simetrică şi anume: apa răspândită într-un strat subţire pe masă. Dar, pentru picăturile mici, această soluţie este neconvenabilă energetic. Aşadar, un sistem care are o simetrie înaltă, poate avea şi soluţii mai puţin simetrice. Corpurile solide sunt alcătuite din reţele de cristale, ceea ce reprezintă nu numai un exemplu de încălcare a simetriei la translaţie (în raport cu deplasările), ci şi a simetriei la rotaţie. Distribuţia omogenă, haotică a atomilor, ca în fluide, reflectă mai exact simetria interacţiunii. Nucleul atomic reprezintă o picătură de fluid nucleonic, fiind de asemenea un exemplu de încălcare a simetriei la translaţie.

Există nu numai nuclee sferice ci şi nuclee „deformate”, care au forma, unui elipsoid, ceea ce reprezintă încălcări ale simetriei şi la translaţie şi la rotaţie.

Încălcarea spontană a simetriilor este un fenomen foarte răspândit în fizica macroscopică. Totuşi, acest fenomen a fost examinat foarte târziu în fizica energiilor înalte. Nu toţi fizicienii care se ocupau cu teoria particulelor elementare au luat imediat în considerare posibilitatea existenţei soluţiilor

asimetrice în sistemele simetrice. Ce să-i faci, specializarea îngustă are şi părţile ei umbrite!

Cum se repercutează acest fenomen asupra fizicii particulelor elementare? O direcţie fructuoasă de cercetări din teoria particulelor elementare valorifică ipoteza potrivit căreia, la distanţe foarte mici, domneşte o simetrie maximă, dar, la trecerea la distanţe mai mari, se produce o încălcare spontană, care poate ascunde simetria. Astfel, în teoria interacţiunii electroslabe, care unifică electrodinamica şi interacţiunile slabe, la distanţe extrem de mici (de ordinul a IO" 16 centimetri) există patru timpuri echivalente, fără mase, care, la mărirea distanţelor, în urma încălcării spontane a simetriei, se transformă în trei bosoni masivi, W, cu masa de ordinul a 100 GeV şi un foton fără masă. Apariţia de hadroni masivi într-un sistem format din gluoni fără masă şi quarci este un alt exemplu de încălcare spontană a simetriei. Aceste exemple arată că multe proprietăţi fundamentale ale particulelor elementare sunt determinate de fenomenul încălcării spontane.

Încălcarea spontană a simetriei este legată şi de un alt fenomen foarte important. Când simetria este încălcată spontan, mai rămân totuşi urme ale simetriei precedente, mai înalte. Este vorba despre aşa-zisa „excitaţie Goldstone" după numele fizicianului englez care a descoperit-o. Când atomii se unesc într-un fragment de corp solid, se încalcă simetria la translaţie. Rămâne însă posibilitatea translatării în spaţiu a centrului de greutate al întregului fragment. Dacă are loc o oscilaţie elastică de lungime mare de undă, fiecare porţiune se deplasează efectiv ca un întreg. Din acest motiv, suntem îndreptăţiţi să ne aşteptăm ca, la mărirea lungimii de undă, frecvenţa oscilaţiei elastice să tindă la zero. Aşa şi este: frecvenţa oscilaţiilor cu lungimi mari de undă (frecvenţa sunetului) este invers proporţională cu lungimea de undă. În corpurile solide şi în cele fluide sunetul este exemplul cel mai simplu de „oscilaţii Goldstone". Stările rotaţionale ale nucleelor mari deformate sunt tot „oscilaţii Goldstone", apărute în acest caz ca rezultat al încălcării simetriei la rotaţie; tocmai de aceea excitaţiile benzii rotar ţionale au o frecvenţă redusă.

Încălcarea spontană a simetriilor constituie un bun exemplu al modului în care domenii diferite ale fizicii, chiar depărtate unele de altele, se influenţează reciproc. În cazul de faţă, este vorba despre influenţa fizicii

corpului solid asupra teoriei particulelor elementare. Se pot da la fél de multe exemple de influenţe reciproce. Metodele teoretice moderne de studiu ale tranziţiilor de fază, ca şi ale altor fenomene ale fizicii macroscopice provin din fizica energiilor înalte.

A cuprinde necuprinsul

O altă direcţie pe care s-a dezvoltat fizica este căutarea unor cauze unice pentru fenomene din domenii diferite, încercarea de a uni diferitele ramuri ale ştiinţelor fizice.

Un pas important în această direcţie a fost făcut de Newton. El a demonstrat că fenomene cum ar fi căderea corpurilor pe Pământ, mişcarea Lunii în jurul Pământului şi mişcarea stelelor sunt determinate de o singură cauză – atracţia cu o forţă invers proporţională cu pătratul distanţei. El a arătat că toate aceste fenomene se pot estima cantitativ cu ajutorul legilor mecanicii formulate de el.

Următorul pas, la fel de grandios, l-a făcut James Maxwell. El a obţinut nişte ecuaţii uimitoare, care unifică toate fenomenele electricităţii, magnetismului şi. Opticii. Marele fizician german, Ludwig Boltzmann, unul dintre fondatorii fizicii statistice, spunea despre aceste ecuaţii. „Nu cumva Dumnezeu însuşi le-a scris?”

La începutul secolului al XX-lea, fizicienii cunoşteau numai două tipuri de interacţiuni: electromagnetice şi gravitaţionale. Primele cercetări privind nucleele atomice arătaseră că neutronii şi protonii care intră în compoziţia nucleului sunt ţinuţi laolaltă de forţe de zeci de ori mai mari decât cele electromagnetice. Aceste particule sunt legate unele de altele prin interacţiuni tari. În afară de interacţiunile tari, s-au descoperit şi forţe mult mai slabe care acţionează între electroni, neutrini şi nucleoni (neutroni şi protoni). Aceste interacţiuni sunt răspunzătoare de unele dezintegrări radioactive şi se numesc „slabe”. Ele produc, între altele, şi transformarea neutronului Uber într-un proton, un electron şi un antineutrin.

Până nu de mult, se părea că între cele patru interacţiuni – taie, slabă, gravitaţională şi electromagnetică – nu există nicio legătură. În ultimele decenii, fizicienii şi-au îndreptat eforturile către unificarea lor. Interacţiunile electromagnetică şi slabă s-au unificat în interacţiunea numită „electroslabă”. Aşa cum am amintit, aceste interacţiuni s-au dovedit o formă de manifestare a

unei interacţiuni unificate mai generale. În ce constă frumuseţea unificării?

Au apărut legături neaşteptate între fenomene diferite. De pildă, constanta care determina mărimea interacţiunii slabe s-a dovedit a fi legată de sarcina electronului. Teoria a explicat multe fenomene care mai înainte păreau enigmatice.

Teoria Marii unificări nu este încă elaborată, dar sperăm că se află pe un drum bun. Ea trebuie să ofere o explicaţie unică pentru interacţiunile electromagnetică, slabă şi tare. Conform predicţiunilor acestei teorii, protonul nu este o particulă stabilă, iar timpul său de viaţă faţă de dezintegrarea într-un pozitron şi un pion neutru, sau într-un neutrino şi un pion pozitiv, este de circa IO30-IO33 ani. Pentru verificarea acestei predicţiuni s-au făcut mai multe experimente. Dacă dezintegrarea se va produce experimental, ideea Marii unificări va fi confirmată.

În ultimul timp, mulţi teoreticieni încearcă să construiască teoria Superunificării, care ar îngloba toate cele patru interacţiuni: tare, electromagnetică, slabă şi gravitaţională.

Pasternak are nişte versuri care sună aşa:

„Înfrăţit cu tot ce există,

Aflând viitorul şi-ncredinţându-te de-ale vieţii toate, Pân-la sfârşit ca să nu cazi nici nu se poate, Ca într-o. Erezie, într-o nemaiauzită simplitate…”

Din păcate, deocamdată, încercările de unificare sunt prea complicate şi va trece multă vreme până când se va ajunge la o „nemaiauzită simplitate”. Tabloul de-abia se schiţează. El nu este destul de frumos şi, deci, e încă departe de adevăr. Şi totuşi, ele pe acum este clar că suntem pe drumul unei înţelegeri mai adânci a măreţei frumuseţi ascunse în Univers.

Spaţiul *este simetric?

Simetria provine din armonia părţilor componente pe care le uneşte într-un întreg. Frumosul este strâns legat de simetrie.

Hermann Weyl

Căutările simetriei legilor naturii arată că drumul către adevărul demonstrat ştiinţific este sinuos, că uneori trebuie să renunţi la afirmaţii aparent neîndoielnice, şi că pe neaşteptate apar legături între fenomene complet diferite. Problemele la care mă voi referi în continuare privesc cele

mai profunde proprietăţi ale Universului – legătura dintre legile naturii şi proprietăţile spaţiului şi timpului. Acestea sunt problemele care determină caracterul interpretării pe care o dăm noi lumii.

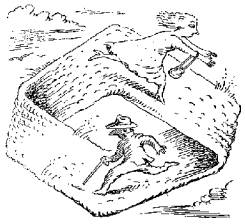
Legile de conservare decurg din simetria spaţiului şi timpului

Există nişte legături surprinzătoare şi totodată fireşti între proprietăţile spaţiului şi timpului şi aşa-numitele „legi de conservare”, cum ar fi legea conservării energiei, sau legea conservării impulsului. Această legătură remarcabilă a fost formulată de matematiciana germană Emmi Noether (1882-1935).

Fiecare tip de simetrie are legea sa de conservare. Astfel, legea conservării energiei este urmarea simetriei naturii la translaţia timpului. Simetria la translaţia spaţială are drept consecinţă legea conservării cantităţii de mişcare (a impulsului). Ne folosim deseori de această lege, pe care se bazează, între altele, şi mişcarea rachetei. Întrucât impulsul total se conservă, impulsul rachetei însăşi (produsul dintre masă şi viteză) se măreşte pe seama impulsului luat de gazele ejectate.

Simetria la rotaţie duce la conservarea momentului cinetic al particulei. Pentru particulele care se mişcă circular, momentul cinetic este egal cu produsul dintre distanţa de la centrul de rotaţie până la particulă, masa şi viteza acesteia.

Pentru corpurile care nu sunt punctiforme, trebuie adunate momentele cinetice ale diferitelor părţi componente suficient de mici ale corpurilor. Balerinele folosesc frecvent legea conservării momentului cinetic: apropiindu-şi mâinile de corp, ele micşorează distanţa până la axa de ’rotaţie şi, în virtutea conservării momentului cinetic, îşi măresc viteza de rotaţie. Nădăjduiesc că balerinele vor fi’âncântate să afle că piruetele lor se obţin datorită simetriei spaţiului faţă de rotaţii.



Voi încerca să clarific cum anume neuniformitatea mersului timpului duce la neconservarea energiei. Să admi-r tem că neuniformitatea mersului timpului se manifestă prin aceea că, dintr-un anume moment, constanta gravitaţiei universale începe să se modifice în mod periodic. Atunci ar fi uşor de construit o maşină care ar putea primi energie din nimic, un perpetuum mobile. Pentru aceasta este necesar să ridicăm greutăţile în perioada gravitaţiei reduse, transformând apoi energia câştigată de acestea în energie cinetică, prin aruncarea în jos a greutăţilor în momentele cu gravitaţie crescută. Observaţi deci că neuniformitatea mersului timpului, adică modificarea ritmului relativ al diferitelor procese, duce la încălcarea legii conservării energiei.

Acum nu ne mai pare straniu faptul că legile conservării energiei şi ale altor mărimi sunt respectate de toate fenomenele naturii. Ele decurg dintr-o proprietate foarte generală a lumii noastre, cum este simetria spaţiului şi a timpului.

Din cele spuse, rezultă că omogenitatea mersului timpului se poate verifica prin cât de precis se îndeplineşte legea conservării energiei. Dacă avem impresia că în tinereţe timpul trece mai repede, lumina era mai puternică, culorile mai proaspete şi mintea mai ageră, toate acestea trebuie explicate prin schimbările petrecute în noi şi nu prin schimbările ritmului timpului; timpul merge uniform. Şi, oricât ar părea de uimitor, pentru demonstraţie este suficient să ne convingem că în maşinile neînsufleţite energia se conservă cu o mare precizie. Şi viceversa, numai din constatarea că atomii emit tot timpul, cu o precizie colosală, lumina având mereu aceeaşi frecvenţă, putem conchide că legea conservării energiei se îndeplineşte cu aceeaşi precizie.

De ce inima se afla în stìnga?

În virtutea simetriei la reflexie a legilor naturii, două instalaţii experimentale care se deosebesc numai prin faptul că una este imaginea în

oglindă a celeilalte; funcţionează absolut identic.

Dar nu se încalcă oare această cerinţă în viaţa de toate zilele? În natură există multe exemple de nerespectare a simetriei la reflexie. Oamenii au inima în partea stângă, iar pentru respectarea simetriei la reflexie, în procesul evoluţiei ar fi trebuit să apară un număr egal de vieţuitoare cu inima în stînga şi cu inima în dreapta. Dar, la o observare mai atentă, constatăm că nu este vorba de fapt de o contradicţie. Iată, de pildă, o entitate mai puţin complexă decât omul. Există, două tipuri de cuarţ care, după structura moleculară, sunt unul faţă de altul, ca mâna dreaptă şi mâna stângă. Aceste două tipuri de cuarţ se găsesc pe Pământ în cantităţi diferite. Acelaşi lucru este valabil şi pentru alte minerale. Din acet motiv, asimetria fiinţelor vii poate fi explicată prin faptul că hrana lor, sau „materialul lor de construcţie" întâlnit în natură nu posedă simetrie la reflexie. Atunci problema se reduce la una mult mai simplă – la încălcarea simetriei la reflexie în lumea neînsufleţită.

În legătură cu aceasta vom aminti o uimitoare experienţă făcută de Louis Pasteur.

Se ştia că, trecând prin acidul tartric dextrogir, care se găseşte în natură, lumina polarizată îşi schimbă direcţia de polarizare (direcţia câmpului electric din unda luminoasă). Lumina polarizată, adică lumina cu direcţie de polarizare se obţine trecând lumina obişnuită printr-un polarizor, dispozitiv ce lasă să iasă numai lumina cu o direcţie de polarizare determinată. Pe acest principiu funcţionează ochelarii polaroizi. Prin lentilele lor poate trece numai lumina cu direcţie verticală de polarizare. Or, lumina reflectată de băltoace sau de asfaltul ud are o polarizare predominant orizontală. De aceea, ochelarii polaroizi micşorează strălucirea orbitoare a luminii reflectate. Este uşor să ne convingem de acest lucru, rotind ochelarii polaroizi în jurul unei axe orizontale.

După ce proprietăţile acidului tartric dextrogir din natură au fost bine studiate, chimiştii l-au preparat sintetic. Produsul nu se deosebea de cel natural prin nicio proprietate fizică sau chimică. Dar, spre imensa uimire a oamenilor de ştiinţă, s-a observat că la trecerea luminii polarizate prin acidul tartric dextrogir sintetic, direcţia de polarizare nu se mai schimbă!

Pasteur a presupus atunci că acidul sintetic este un amestec a două formé simetrice la oglindire, aşa cum este mâna stângă faţă de mâna dreaptă. Unul dintre acizi dă direcţia de polarizare spre dreapta, celălalt – spre stînga.

Ca urmare, polarizarea rămâne neschimbată.

Ca să-şi demonstreze ipoteza, Pasteur a cultivat o colonie de microbi în acidul de sinteză, considerând că aceştia, obişnuiţi să se hrănească cu acid natural, nu vor refuza forma lui simetrică. Alice, eroina povestirii lui Lewis Caroli, contemporan cu Pasteur, era preocupată de aceeaşi problemă. Invitându-şi pisica la drum dincolo de Oglindă, ea se întreabă dacă laptele din oglindă se poate bea, dacă nu cumva acest lapte i-ar face rău lui Kitty. Cât de uimitoare poate fi o problemă ştiinţifică, dacă îşi poate afla locul şi într-o poveste!

Şi ce s-a observat? Când microbii au început să se înmulţească în acidul sintetic, direcţia de polarizare a luminii care trece prin acid se schimba din ce în ce mai mult. Acidul natural rotea planul de polarizare la dreapta, dar, după înmulţirea microbilor, cel sintetic a început să-l rotească la stînga! Cât de mare trebuie să fi fost emoţia şi bucuria lui Louis Pasteur, când ipoteza lui s-a confirmat într-un mod atât de neobişnuit! E posibil ca aceasta să fie singura descoperire din fizică, făcută cu ajutorul microbilor.

Astfel, Pasteur şi-a demonstrat strălucit ipoteza şi a arătat că şi organismele inferioare au capacitatea de a face deosebire între cele două forme simetrice la reflexie. Ambele forme apar în cantităţi egale, chiar şi în substanţe sintetice, fapt care confirmă încă odată că procesele sunt simetrice în ceea ce priveşte reflexia.

După cât se pare, asimetria la oglindire din lumea vie nu se explică prin încălcarea acestei simetrii, ci prin motive istorice. Este posibil ca, întâmplător, în acel loc de pe Pământ unde a apărut pentru prima oară viaţa, materialul de construcţie „de dreapta” să fi fost mai abundent şi de aceea a apărut una dintre forme care apoi s-a moştenit.

Răspândirea inegală a mineralelor „de dreapta” şi „de stînga” se poate explica presupunând că în momentul formării lor, în mediul înconjurător existau tensiuni de forfecare mari, sau, în cazul lichidelor, mişcări turbionare intense. Una dintre cauzele posibile ale asimetrici poate fi şi rotaţia Pământului, dar ea avantajează neglijabil de puţin una dintre forme în dauna celeilalte. Încălcarea simetriei la reflexie, provocată de interacţiunile slabe, este, aşa după cum am văzut, foarte mică şi deci ea cu greu ar putea explica diferenţa mare în ceea ce priveşte răspândirea mineralelor „de dreapta şi de stînga”.

Astfel, până nu de mult, fizicienii erau convinşi că atât în lumea noastră cât şi în oglindă toate legile naturii sunt aceleaşi. Dar a trebuit să se renunţe la această convingere.

Încălcarea simetriei la reflexie în interacţiunile siale

Cu aproximativ treizeci de ani în urmă au apărut primele contradicţii. Se descoperise pe atunci o particulă – mezonul K încărcat – care se poate dezintegra fie în două, fie în trei particule numite mezoni pi. Analiza experimentelor i-a condus pe fizicieni la concluzia că în acest caz simetria la reflexie este încălcată. Legea simetriei de reflexie interzice mezonului K să se dezintegreze în aceste două moduri.

Simetria la reflexie ca şi celelalte simetrii la translaţii şi rotaţii în spaţiul-ţimp, examinate mai înainte, duce la o lege de conservare. Se conservă o mărime numită „paritate”. În conformitate cu mecanica cuantică, descrierea comportării unei particule se face cu ajutorul aşa-numitei „funcţii de undă”. Mărimile fizice se exprimă – cu ajutorul pătratului acestei funcţii. Conform legii simetriei la reflexie, proprietăţile particulelor nu trebuie să se modifice la reflexie, dar acest lucru nu este valabil pentru funcţia de undă, care, de exemplu, îşi poate schimba semnul. Atunci când funcţia de undă nu îşi modifică semnul la reflexie, starea descrisă se numeşte „pară”, iar când şi-l modifică se numeşte „impară”, în acest fel, în cazul simetriei la reflexie, fiecare particulă are o paritate bine determinată. Acum se poate înţelege în ce constă dificultatea survenită în legătură cu particula K. Mezonul pi este o particulă impară, ceea ce înseamnă că, în stare de repaus, funcţia sa de undă îşi schimbă semnul la reflexie. Dacă mezonul K este par, el se poate dezintegra numai în două particule impare, iar dacă este impar, numai în trei particule impare. Aici am simplificat întrucâtva raţionamentul, dar nu ne-am îndepărtat prea mult de adevăr; trebuia să ne convingem dacă nu cumva paritatea particulelor eliberate se schimbă din cauza mişcării lor.

Experimentul strălucit din 1956, referitor la dezintegrarea beta a cobaltului, efectuat de un grup de fizicieni americani (Tzin-Sian Wu şi ceilalţi) a dat lovitura hotărâtoare legii simetriei la reflexie. Cobaltul, la temperatură joasă, a fost introdus într-un câmp magnetic puternic. În prezenţa câmpului, nucleele se polarizează, iar spinii lor (despre care vom mai vorbi) se orientează în lungul câmpului magnetic. La dezintegrarea beta, din nucleele

de cobalt se eliberează electroni şi antineutrini. S-a observat că electronii zboară mai ales în unghiuri obtuze faţă de direcţia câmpului magnetic. Or, conform legii simetriei la reflexie, ar fi trebuit să se observe în egală măsură atât unghiuri ascuţite cât şi unghiuri obtuze.

Într-adevăr, să privim această instalaţie reflectată în oglindă. În raport cu obiectele reflectate, câmpul magnetic îşi va schimba sensul, aşa cum se întâmplă cu un burghiu, care, din burghiu drept, devine prin reflexie, burghiu stâng. Direcţia câmpului magnetic este determinată de sensul curentului din bobina care creează câmpul tocmai după regula burghiului. De aceea, în oglindă, unghiurile obtuze faţă de direcţia câmpului se vor transforma în unghiuri ascuţite, deci imaginea reflectată nu arată ca experimentul, ceea ce este în contradicţie directă cu legea simetriei la reflexie.

A fost o perioadă de derută. Fizicienii au devenit suspicioşi şi faţă de alte simetrii ale spaţiului nostru. La vremea respectivă, aşa se părea, soluţia a fost găsită în 1957 de către fizicianul sovietic L.D. Landau şi fizicienii americani Tzen-Dao Lee şi Cjzen-Nin Yang. Ei au presupus că particulele care iau parte la dezintegrarea beta (electronii, neutrinii, nucleonii) sunt asimetrici la reflexie; simetria s-ar restabili numai dacă s-ar trece de la particule la antiparticule. Acum, la reflexie, întregul tablou se schimbă – nu numai că unghiurile obtuze trec în unghiuri ascuţite, ci şi particulele trec în antiparticule. În acest fel, simetria la reflexie a spaţiului nu mai este încălcată, iar asimetria interacţiunilor slabe este determinată de asimetria particulelor care sunt implicate în dezintegrare. Existenţa în lumea noastră a particulelor asimetrice nu contrazice simetria spaţiului, după cum nu o contrazice nici existenţa fiinţelor vii asimetrice.

Simetria la sarcină şi la reflexie. Antilumile

Până la aceste experimente, fizicienii considerau că legile naturii nu se modifică dacă schimbăm semnul tuturor sarcinilor electrice[32]. Această proprietate a legilor naturii se numeşte simetria de sarcină.

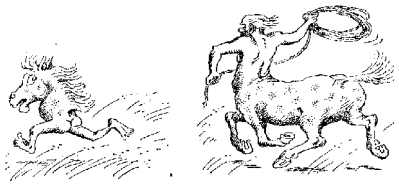
Toate ecuaţiile fizicii, admit, alături de particule şi existenţa antiparticulelor. Şi într-adevăr asemenea antiparticule (pozitronul, antiprotonul, antineutronul etc.), au fost descoperite. Aşa cum nucleul oricărui element chimic este format din protoni şi neutroni, se poate forma nucleul

32 Această operaţie se mai numeşte şi conjugare de sarcină. — Nota trad.

antielementului respectiv, din antiprotoni şi antineutroni. Dacă antinucleului încărcat negativ, i se adaugă pozitroni, se obţine un antiatom, iar din antiatomi se poate forma antimaterie. Întrucât forţele dintre antiparticule sunt egale cu forţele dintre particule, antimateria va avea aceleaşi proprietăţi ca materia.

Pentru a lua în considerare proprietăţile interacţiunii slabe, legea simetriei de sarcină a trebuit să fie precizată: natura nu are simetrie de sarcină, ci o simetrie combinată, la reflexie şi de sarcină. Niciun fel de legi ale naturii nu se modifică dacă efectuăm concomitent schimbarea semnului tuturor sarcinilor din univers şi reflexia.

Antilumea se deosebeşte de lumea noastră nu numai prin semnul sarcinilor. Într-o astfel de lume se schimbă' şi semnificaţia lui „drept" şi „stâng"; antilumea este imaginea reflectată a lumii noastre. Oamenii acestei lumi, cu condiţia ca să fi trecut prin aceeaşi evoluţie ca noi, ar avea inima în dreapta. Mâna lor cea mai puternică ar fi stînga. Eminentul fizician american, Richard Feynman spune în lecţiile sale: „Dacă veţi întâlni în spaţiul cosmic o navă venind dintr-o lume îndepărtată şi cosmonautul vă va întinde mâna stângă, păziţi-vă, este posibil ca acesta să fie alcătuit din antimaterie!" -



Există oare antilumi în universul nostru, adică regiuni de antimaterie? Această întrebare rămâne deocamdată fără răspuns definitiv, deşi majoritatea astrofizicienilor consideră că nu există antilumi. Dacă ar exista, la graniţa dintre materie şi antimaterie ar avea loc anihilarea electronilor şi pozitronilor, adică transformarea unei perechi electron-pozitron în două cuante; energia fiecărei cuante trebuie să fie egală cu energia de repaus a electronului (0,5 MeV). În Univers ar trebui să fie prezente în număr mai mare cuante cu energia de 0,5 MeV. Dar astfel de cuante nu există.

Aşadar, Landau, Lee şi Yang au presupus că legile naturii au o simetrie combinată de sarcină şi la reflexie.

Dar şi această simetrie s-a dovedit inexactă. Experimentele cu acelaşi mezon K recalcitrant, care a provocat primele neplăceri cu încălcarea

simetriei la reflexie, au pus în evidenţă o abatere foarte mică, dar de o colosală importanţă principială, de la legea simetriei de sarcină şi la reflexie.

Înseamnă oare aceasta că spaţiul nostru nu este simetric, sau din nou încălcarea simetriei este proprietatea particulelor şi nu a spaţiului?

Fiecare descoperire importantă tulbură la început ordinea şi frumuseţea, dar, după un timp duce la un tablou mai armonios decât înainte.

Din acest motiv, este bine să mai aşteptăm cu răspunsul la întrebarea pusă în titlul capitolului.

Simetria internă de la fenomene, la legile naturii, de la legile naturii, la simetrii…

E. Wigner

Va trebui să examinăm încă un tip de simetrii, la fel de productiv pentru fizica contemporană, ca şi simetriile spaţiului.

Există nişte „simetrii interne”, care se manifestă tot prin invarianţa proprietăţilor, dar nu la reflexie, translaţie sau rotaţii, ci la modificarea unor anumite proprietăţi interne ale câmpurilor sau ale particulelor. De exemplu, interacţiunile tari depind neglijabil de sarcina particulelor implicate. Această proprietate permite să se stabilească „simetria izotopică a interacţiunilor tari” un caz de simetrie internă.

Ca şi simetriile spaţiale, fiecare simetrie internă duce la o lege proprie de conservare şi invers, când o anumită mărime se conservă în multe fenomene, aceasta, de regulă, înseamnă că există o simetrie care asigură conservarea. De exemplu, sarcina electrică se conservă în toate fenomenele cunoscute ale naturii. Simetria care corespunde acestei legi de conservare se numeşte invarianţa de etalonare; ea a pătruns nu numai în electrodinamică, ci în toată fizica teoretică. De aceea ne vom referi la ea mai pe larg.

Invarianta de etalonare

Câmpurile electromagnetice care interacţionează cu particulele încărcate se pot descrie mai uşor cu ajutorul aşanumitului „potenţial vector”. Dar forţele care acţionează asupra corpurilor încărcate electric nu sunt determinate nemijlocit de potenţialul vector, ci de diferenţele de potenţial ale

câmpurilor electrice şi magnetice. Câmpurile se exprimă prin diferenţele dintre valorile potenţialului vector în punctele vecine (aşa-numitele „gradiente” ale mărimii respective). Potenţialul vector poate fi modificat, fără ca intensităţile câmpurilor să se schimbe. Invarianţa de etalonare sau simetria de etalonare înseamnă că niciun fel de fenomene electrodinamice nu se modifică la schimbările potenţialului vector care conservă valorile câmpului electric şi ale celui magnetic în fiecare punct al spaţiului-ţimp. Consecinţele acestei proprietăţi a electrodinamicii s-au verificat experimental cu o mare precizie. Ce fel de schimbări ale potenţialului vector sunt acceptabile? Cea mai simplă constă în adăugarea la potenţialul vector a unui termen constant, independent de coordonate. Drept urmare, diferenţele dintre valorile potenţialului vector nu se schimbă, deci intensităţile vor fi tot cele vechi. Dar, s-a observat că potenţialul vector admite o libertate mult mai mare – acestuia i se poate adăuga o funcţie de coordonate şi de timp, corespunzător aleasă, astfel încât câmpurile electrice şi cele magnetice să nu se schimbe.

Invarianţa de etalonare trebuie să aibă loc în fiecare punct al spaţiului, fiind deci o simetrie locală.

Invarianţa de etalonare asigură conservarea sarcinii totale nu numai în întreg spaţiul, ci şi în fiecare punct. Sarcinile se pot deplasa, dar nu pot să dispară dintr-o regiune a spaţiului şi să apară în alta, fără ca să se producă un curent electric, care să transporte sarcinile.

Legea lui Coulomb, bine verificată experimental, este şi ea o consecinţă a invarianţei de etalonare. Chiar şi cea mai mică abatere de la această condiţie ar schimba legea de propagare a undelor lungi de radio, fapt care ar contrazice experienţa noastră zilnică.

Condiţia simetriei de etalonare a jucat un rol hotărâtor în apariţia electrodinamicii cuantice, în care legile mecanicii cuantice se aplică nu numai particulelor, ci şi câmpului electromagnetic însuşi.

Noţiunea de invarianţă de etalonare s-a îmbogăţit în special după apariţia mecanicii cuantice. La modificarea etalonării potenţialului vector, funcţiile de undă ale particulelor încărcate se schimbă astfel încât ecuaţiile de mişcare ale întregului sistem să rămână neschimbate, atât pentru câmpuri, cât şi pentru particulele care interacţionează cu ele. O astfel de invarianţa de etalonare generalizată, are un număr imens de consecinţe observabile.

Indiscemdbilitatea particulelor identice

O simetrie la fel de importantă decurge din indiscernabil litatea principială a particulelor identice. Ca urmare a permutării a două particule identice, cum ar fi, de exemplu, doi electroni sau doi neutroni, nu trebuie să se modifice niciun fel de fenomene fizice. Această condiţie se numeşte „simetria de permutare a obiectelor identice”.

Doi turişti, temându-se să nu-şi încurce toiagele de drumeţie identice, le-au vopsit în culori diferite. Dar imediat şi-au dat seama că era suficient să coloreze unul. Reflectând ceva mai mult, se ajunge la concluzia că şi vopsirea este inutilă, căci două obiecte ideal identice nu pot fi confundate. Povestind despre fratele său geamăn care s-a îitecat în copaie, Mark Twain observă că „Nimeni n-a ştiut vreodată cine anume s-a înecat, eu sau fratele meu”. Fraţii fiind realmente identici, nu exista niciun mijloc de a afla adevărul. Afirmaţia nu se poate verifica, deci este neştiinţifică. Despre asemenea lucruri am vorbit şi în capitolul „Despre psihologia creaţiei ştiinţifice”.

În mecanica cuantică, starea unui sistem se descrie cu ajutorul funcţiei de undă. Mărimile fizice se exprimă prin pătratul acestei funcţii de undă. Din acest motiv, există două cazuri care nu încalcă simetria la permutare. În primul caz, funcţia de undă nu se modifică la permutarea particulelor, în al doilea, ea îşi schimbă numai semnul.

Într-o lucrare care a exercitat o influenţă uriaşă asupra întregii dezvoltări ulterioare a fizicii, Wolfgang Pauli a arătat că primul caz se realizează pentru particulele cu spin întreg, iar cel de-al doilea, pentru particulele cu spin semiîntreg.

Dar să vedem ce este spinul unei particule.

Particulele elementare pot fi reprezentate ca nişte mici titirezi care se învârtesc. Ele se caracterizează prin momentul lor cinetic. După cum vom vedea în capitolul următor, conform mecanicii cuantice, momentul cinetic al unui sistem nu poate avea orice valori; el se schimbă prin salturi de mărime h (h este tocmai constanta lui Planck, care defineşte salturile de energie din câmpul electromagnetic şi despre care am scris în capitolul al II-lea, când am vorbit despre paradoxurile fizice). Momentul cinetic poate fi măsurat de obicei în unităţi h şi acest moment se numeşte „spin”. El poate lua valori întregi sau semiîntegi. Astfel, spinul hidrogenului în starea lui fundamentală este egal cu 1/2, în stările excitate ia valorile 1/2, 3/2, 5/2… Spinul atomului de heliu în

starea fundamentală este 0, iar în stările excitate 0, 1, 2, 3... Spinul electronului, neutronului sau protonului aflaţi în repaus este 1/2.

Valorile discrete pe care le poate lua momentul cinetic sunt complet nesesizabile în viaţa obişnuită, întrucât h este foarte mic (h IO" "27 în sistemul CGS[33]). Proiecţiile momentului pe o axă oarecare iau şi ele valori care se deosebesc una de alta tot prin h. Întrucât proiecţia unùi vector pe o axă, de exemplu pe axa z, este lungimea acestuia înmulţită cu cosinusul unghiului dintre vector şi axa z, atunci şi unghiul poate lua numai valori discrete. Prin urmare titirezul cuantic nu se poate înclina sub orice unghiuri. Desigur, şi această discretizare se găseşte departe de posibilităţile de măsurare din mecanica obişnuită.

Alta este situaţia cu atomii şi moleculele, electronii şi nucleonii. Acolo, discretizarea valorilor posibile ale vectorului momentului cinetic şi ale proiecţiei sale se verifică nemijlocit. Astfel, proiecţia spinului 1/2 poate lua numai două valori: 1/2 şi 1/2, iar în acest caz, valorile discrete sunt uşor de pus în evidenţă. Particula cu spinul 1 poate avea numai trei proiecţii posibile: 1,0, 1. Numărul de proiecţii creşte

O dată cu creşterea spinului. Pentru corpurile care au un moment cinetic cu valori macroscopice, adică un spin mare, valorile proiecţiilor pot fi atât de multe, încât discretizarea este imposibil de observat.

Cel mai simplu mijloc de a găsi spinul este determinarea

1 numărului de proiecţii. O particulă cu spinul I are 211 proiecţii. În afară de aceasta, spinul influenţează dependenţa secţiunii de împrăştiere faţă de unghiul de difuzie.

În felul acesta, funcţia de undă îşi schimbă semnul când se permută, să zicem, doi electroni, (spinul electronului este egal cu 1/2) şi nu se schimbă când se permută doi mezoni 7c (spinul mezonului n este egal cu zero). Acum este uşor să se înţeleagă principiul „de excluziune al lui Pauli", refèiilor la particulele cu spin semiîntreg: dacă două particule cu spin semiîntreg se află în aceeaşi stare, atunci permutarea lor nu poate schimba funcţia de undă. În acelaşi timp, conform teoremei lui Pauli, funcţia de undă ar fi trebuit să-şi

33 în sistemul internaţional valoarea lui h este 1,054 X 10~34 Joule s. (este vorba de fapt despre h/2rc, în convenţia adoptată de autor vezi p. 75). — Nota trad.

schimbe semnul. Prin urmare, o asemenea funcţie de undă este egală cu zero. Dar funcţia de undă determină probabilitatea de a găsi particula în starea dată; dacă ea este egală cu zero, aceasta înseamnă că starea respectivă este imposibilă – două particule cu spinul semiîntreg nu se pot afla în aceeaşi stare.

Simetria izotopică

Unul dintre exemplele simple de simetrie internă este „invarianţa izotopică a interacţiunilor tari” confirmată prin nenumărate experienţe şi foarte importantă pentru formularea teoriei nucleului. Neobişnuita asemănare a câtorva particule sare pur şi simplu în ochi; de exemplu a neutronului şi protonului, sau a mezonilor tu plus, *n* zero şi *iz* minus. Neutronul şi protonul se deosebesc practic numai prin sarcină, masa lor coincide cu o precizie de 0,1 procente, interacţiunea lor cu celelalte particule fiind identică. Spinul protonului şi cel al neutronului sunt egali cu 1/2. Lucruri asemănătoare se pot spune şi despre cei trei mezoni n: aceştia nu numai că au mase foarte apropiate, nu numai că au acelaşi spin (egal cu zero) dar au şi aceeaşi interacţiune cu nucleonii.

Aceste asemănări au condus la ideea că neutronul şi protonul sunt două stări ale uneia şi aceleiaşi particule. Cei trei mezoni *tv* ar reprezenta tot o singură particulă, care se poate afla nu în două, ci în trei stări izotopice.

Să introducem o nouă noţiune – spinul izotopic (izospinul) şi să admitem că proprietăţile lui amintesc de proprietăţile spinului obişnuit. În acest caz, izospinul 1 va avea trei proiecţii, iar izospinul 1/2, două. Nucleonul are două stări izotopice, deci izospinul lui are valoarea 1/2, protonul şi neutronul corespunzând respectiv valorilor 1/2 şi 1/2 ale proiecţiei izospinului. Mezonul *tv* are spinul izotopic 1. Mezonii tu pozitivi, neutri şi negativi corespund respectiv celor trei proiecţii ale izospinului 1. În acest fel, interacţiunile tari au proprietatea invarianţei izotopice, ele nedepinzând de starea izotopică în care se află particulele în interacţiune.

Simetria izotopică nu este exactă: particulele cu sarcini diferite au mase apropiate, dar totuşi inegale.

Stranietatea

Construirea unor acceleratoare puternice şi punerea la punct a unor metode sensibile de detecţie au dus la descoperirea unui număr imens de

particule noi. Ele sunt generate la ciocnirea nucleonilor, sau sunt identificate după influenţa lor asupra împrăştierii. Primele particule descoperite au fost cele „stranii”. Ce era straniu la ele, era tocmai faptul că nu apăreau niciodată câte una, aşa cum apare mezonul tu, ci numai în perechi particulă-antiparticulă. Pentru a explica aceast proprietate, acestor particule a trebuit să li se asocieze, pe lângă spin şi izospin, şi un alt număr – „stranietatea”. Astfel, particula lambda are stranietatea 1, iar particula antilambda, 1. Perechea particulă-antiparticulă are stranietatea totală egală cu zero. Acum este uşor de înţeles de ce particulele lambda apar numai în pereche. Este suficient să presupunem că stranietatea se conservă şi că nucleonul şi mezonul tt au stranietatea zero şi apariţia unei singure particule lambda devine imposibilă în reacţiile cu participarea nucleonilor şi a mezonilor tt. În rest, lambda este asemănătoare cu nucleonul.

Toate particulele care interacţionează tare (şi care se numesc hadroni) mai posedă o proprietate: numărul de barioni nu se modifică în urma ciocnirilor (hadronice); barionii pot numai să treacă unul în altul. Mai exact, diferenţa dintre barioni şi antibarioni rămâne constantă. Această proprietate poate fi formulată ca o lege de conservare a. Sarcinii barionice. Este suficient să se prescrie fiecărui barion sarcina barionică 1, iar fiecărui antibarion sarcina 1. Sarcina barionică a mezonilor tt, care se pot genera în orice număr, trebuie considerată egală cu zero.

S-au descoperit şi alte particule stranii. Pentru ca şi acestea să poată fi incluse într-o singură familie cu nucleonul sau cu pionul (dar pentru cazul sarcinii barionice zero) a fost necesară complicarea simetriei izotopice. Trebuia presupusă o simetrie mai largă, care să includă particulele stranii. S-au descoperit două familii mai mari de particule care injri «icţionoază tare: bar ionii şi mezonii. Bar ionii au spinul MMn. Iân, lteg (1/2, 3/2...) şi sarcina barionică 1, mezonii au spinul întreg (0, 1, 2...) şi nu au sarcină barionică. Familia bai ionilor s-a împărţit în două grupe cu proprietăţi asemănătoare. Bar ionii dintr-un grup (în care sunt opt) au spinul 1/2, în alt grup sunt zece particule, având spinul 3/2. În mod analog, mezonii cu spinul zero formează un octet de particule asemănătoare.

Abundenţa de particule descoperite ca urmare a succeselor fizicii teoretice şi experimentale nu i-a bucurat, ci mai degrabă i-a pus pe gânduri pe teoreticieni. A început căutarea unei prematerii sau a unor preparticule, astfel

încât toată cohorta de particule observate să se obţină din combinaţia câtorva particule elementare, sau, mai prudent spus, din particule „mai elementare”.

Istoria unei simetrii

Trei quarci, pentru maestrul Markt

J. Joyce

Istoria lucrărilor consacrate descoperirii subparticulelor din care sunt formaţi hadronii este dramatică şi extrem de bogată în învăţăminte. Tabloul structurii hadronilor s-a constituit treptat din fapte disparate. Vom enumera aici evenimentele principale ale acestei drame în spatele căreia stau eforturile fizicienilor din toate ţările, succesele temporare şi eşecurile lor, destinele unor oameni care şi-au cheltuit ani întregi din viaţă încercând să găsească adevărul pe căi greşite. Vom vedea totodată că încercările nereuşite au scurtat drumul către ţel şi au pregătit soluţia corectă.

Începutul istoriei

Atâta timp cât se cunoşteau numai doi hadroni, nucleonul şi mezonul tu, exista speranţa că neutronul şi protonul sunt particule elementare, în timp ce mezonul *iz* este o stare legată nucleon-autinucleon. Astfel, mezonul tu minus se reprezenta ca un antiproton şi un neutron cu spinii opuşi. Această idee nu s-a transformat însă într-o teorie cantitativă convingătoare ceea ce a jucat un rol pozitiv, întrucât, îndată după descoperirea particulei lambda, a devenit clar faptul că particulele primare trebuie să aibă stranietate. Atunci s-a născut ideea că există nu două, ci trei elemente de construcţie, care s-au notat prin analogie cu neutronul, protonul şi lambda cu n, P X. Dezvoltarea acestei idei a dus la edificarea modelului Okun-Salcata, după numele fizicienilor teoreticieni Lev Okun (U.R.S.S.) şi Shoichi Sakata (Japonia). Subparticulele aveau aceleaşi proprietăţi ca şi „tizii” lor – neutronul, protonul şi lambda.

Mezonii erau compuşi dintr-o subparticulă şi antiparticula ei, iar barionii, din două particule şi o antiparticulă, în felul acesta, folosind numai subparticulele n, p, X şi antiparticulele lor, s-au putut obţine toţi hadronii

cunoscuţi pe atunci şi s-a putut prezice existenţa câtorva hadroni noi, care au fost descoperiţi ulterior.

Astfel, din trei particule, n, P, X, şi din trei antiparticule se puteau alcătui nouă mezoni cu spinul zero, dar se cunoşteau numai şapte: trei mezoni te şi patru mezoni K. Gei doi mezoni neutri lipsă, tj şi v) ’ au fost descoperiţi după câţiva ani.

Modelul compus explica în mod firesc împărţirea celor nouă mezoni într-o familie formată din opt membri (octetul) şi un mezon separat (singlet), dar nu reuşea să explice familia de barioni formată din opt membri cu spinul 1/2.

Quaren

Numeroasele încercări de a obţine familiile observate de barioni şi mezoni din particule cu sarcină electrică şi barionică întreagă au eşuat. Ieşirea din dificultate a fost găsită într-un mod neaşteptat de americanii Murray G-ell Mann şi George Zweig, în mod independent.

Ei au presupus că toţi hadronii sunt compuşi din particule cu sarcină barionică egală cu 1/3 din sarcina unui nucléon şi cu sarcina electrică egală cu 2/3 sau 1/3 din sarcina protonului. Spinul acestor particule este acelaşi ca al nucleonului, egal cu 1/2. În experimente n-au fost niciodată identificate vreun fel de particule cu sarcini electrice fracţionare, şi fizicienii erau atât de convinşi că toate sarcinile sunt multiple: „ai îmi electronului sau protonului, încât ideea sarcinilor Îi acţionare părea absurdă. Revista americană *Physical Review Leiters* a refuzat să publice lucrarea lui GeII-Mann, astfel încât acesta a trebuit s-o trimită în Europa la *Physies Leiters*. G eII-Maun a denumit aceste particule quarti, după strigătele pescăruşilor din cartea lui Joyce, *Veghea lui Finnegan*.

Ca prin minune, toţi hadronii s-au aşezat în grupele cu proprietăţile determinate experimental.

Barionii sunt formaţi din trei quarci, astfel încât sarcina lor barionică să fie egală cu unu. Din trei quarci se pot forma două combinaţii cu spinul 1/2 şi respectiv 3/2, şi de aceea apar două familii de barioni. Au trebuit introduse trei tipuri de quarci: sus, jos şi straniu. Ei au fost notaţi cu iniţialele cuvintelor englezeşti up, down şi strange. Quarkul a are sarcina electrică 2/3, iar quarcii ci şi s, sarcina 1/3; quarkul s are stranietatea 1, (el intră numai în compoziţia tiadronilor stranii), în timp ce quarcii a şi ci au stranietatea zero! Quarcii a şi

ci reprezintă cele două proiecţii ale izospinului 1 /2, (proiecţia „în sus” şi „în jos”), de unde şi denumirea lor. Neutronul şi protonul sunt alcătuiţi astfel: n (udd); o (d a u). Sau, cu alte cuvinte, neutronul constă din doi quarci ci şi un quark u, iar protonul se obţine printr-o schimbare reciprocă u±d. Este uşor de văzut, că în acest caz, sarcina neutronului este egală cu zero şi a protonului cu 1, aşa după cum se şi consideră. Aproape la fel de uşor se construiesc toate combinaţiile posibile de trei quarci cu spinul total 1/2 şi 3/2. Astfel, se obţin toţi barionii care formează cele două familii, de opt şi de zece. Mezonii sunt compuşi dintr-un quark şi un antiquark. Mezonii tt încărcaţi sunt reprezentaţi ca: tu (u d); *tT* (du), iar cei neutri, ca o combinaţie dintre (6 u) şi (d d). Antiquarcii sunt notaţi cu o linie; sarcina lor electrică este opusă sarcinii quarkului corespunzător. Quarkul straniu nu intră în mezonul n, întrucât mezonul tt, aşa cum am mai amintit, este o particulă cu stranietatea şi spinul egale cu zero. Mezonul Ko are stranietatea 1. Ko (d s). Acesta este mezonul neutru. În mod analog se construiesc mezonii cu sarcina pozitivă: K (us), şi negativă K” (us).

Intraţi în acest joc şi construiţi şi alţi hadroni. Jocul vă va aminti de cuburi.

Totuşi, aşa după cum vom vedea imediat, cuburile noastre sunt încă insuficiente pentru descrierea întregului tablou.

Trebuie să colorăm quarcii!

Printre bar ionii care compun grupul de zece cu spinul 3/2 se numără şi rezonanţa delta (sau barionul delta). El se notează cu semnul À (majuscula greacă „delta”). Această particulă are o viaţă scurtă, fiind greu de observat în stare liberă. Totuşi particula A apare în împrăştierea mezonilor tt pe nucleoni. Barionul delta reprezintă starea legată a nucleonului şi a mezonului tt. În procesul de împrăştiere, mezonul tt şi nucleonul se unesc temporar într-un barion delta. Din acest motiv, secţiunea de împrăştiere a mezonului tt pe nucleonul aflat în repaus are un maximum (rezonanţa) la o energie a mezonului tt corespunzătoare acestei stări legate.

Să ne folosim de formula cunoscută peste tot unde există televizor sau radio, E me2, (energia este egală cu masa înmulţită cu pătratul vitezei luminii). Împărţind energia mezonului tt din maximul secţiunii la c2 şi adăugând-o la masa nucleonului, vom obţine masa rezonanţei delta. Întrucât nucleonul şi mezonul nu sunt particule stranii, stranietatea lui A este zero.

Aceasta înseamnă că ea este compusă din quarci a şi d.

Din dependenţa secţiunii faţă de unghiul de difuzie, s-a stabilit că spinul particulei A este 3/2. Au fost descoperite patru varietăţi izotopice de barion delta, care se deosebesc numai prin sarcina lor electrică.

Este uşor să le reprezentăm cu ajutorul grupelor de trei quarci a şi d: (d ci d) A", (d ci u) Ao, (duu) A, (u a u) A. Aceştia sunt barionii delta cu sarcinile 1, 0, 1, 2. Am epuizat toate combinaţiile, prin urmare alţi barioni delta nu mai există. De exemplu, nu există barionul A. O particulă cu sarcina 2 negativă se poate construi numai din antiquarci: (üüü) A*

Să ne îndreptăm atenţia către barionul delta plus-plus, care, aşa după cum am văzut constă din trei quarci u. (Numai atunci sarcina totală va fi 2(3x2/3 2).)

Dar, pentru ca spinul particulei să fie egal cu 3/2, trebuie ca proiecţiile spinilor tuturor celor trei quarci a să fie egale cu 1/2.

Apare, aşadar, o contradicţie cu principiul lui Pauli! Conform acestui principiu, particulele cu spin semiîntreg nu se pot afla în aceeaşi stare. Pentru a înlătura contradicţia, s-ar fi putut încerca o distribuţie spaţială diferită a quarcüor în interiorul barionului delta. Dar, în cazul unei astfel de elisi I ipni îi ìiciiniforme, energia creste, deci şi masa barionului della... În locul masei constatate (de aproximativ o dată şi, jumătate mai mare decât a nucleonului) am obţine o masă sensibil mai mare. Teoreticienii au încercat de mai multe ori să ocolească principiul lui Pauli, dar s-a înregistrat un eşec pe toată linia. A reieşit că unica posibilitate este presupunerea că fiecare quark are, pe lângă spin şi sarcină, încă o caracteristică, numită convenţional „culoare". Fiecare quark poate avea una dintre cele trei culori, alese să fie, de exemplu, roşu, galben, albastru. În acest fel, contradicţia cu principiul lui Pauli dispare: quarcii a din barionii delta sunt de culori diferite, iar particulele diferite se pot afla şi în aceeaşi stare.

Culorile quarcilor nu trebuie înţelese „ad litteram", fiind vorba numai de o convenţie. O variantă ar fi pur şi simplu numerotarea: ult u2, u3.

Quarcii nu pot trai unul fără altul

Numeroase cercetări experimentale şi teoretice au confirmat existenţa sarcinilor fracţionare şi trieromia quarcilor. Quarcii au devenit obiecte tot atât de autentice ale fizicii, cum sunt protonii şi electronii. Totodată. Însă, deşi s-au

făcut multe încercări, nu s-au putut găsi experimental particule libere cu sarcini fracţionare. Quarcii nu pot fi scoşi din hadroni nici la ciocniri foarte puternice. Vrei, nu vrei, trebuie să ridici inseparabilitatea quarcilor la rangul de lege a naturii. Numai particulele „albe” se pot găsi în stare izolată, aşa cum sunt hadronii şi leptonii (electronii, miuonii, neutrinii), în timp ce particulele „colorate” – quarcii trebuie observate numai în interiorul hadronilor. Quarcii nu pot fi îndepărtaţi unul de celălalt. Atunci când se încearcă separarea lor, ei se transformă în particule albe. Dacă la ciocnirea, să zicem, a electronilor cu pozitronii, la energii mari (cum ar fi în acceleratori cu fascicule încrucişate) apare perechea quark-antiquark, atunci aceasta din urmă generează la rândul ei imediat alte perechi colorate, şi toate se grupează în combinaţii albe – barionii şi mezonii. Ceva mai încolo, vom determina mai precis ce anume înseamnă „o particulă albă”.

La o primă privire, inexistenţa quarcilor liberi nu pare o proprietate chiar atât de ciudată. Neutronul trăieşte în nucleu un timp nelimitat de lung, dar în stare liberă se dezintegrează într-un sfert de ceas. Desigur că pentru particula nucleară sfertul de oră reprezintă un timp enorm, dar, de exemplu, rezonanţa À se dezintegrează atât de rapid, că nu poate fi observată în stare liberă, astfel încât existenţa sa se constată numai prin influenţa ei asupra împrăştierii pion-nucleon. La separare, quarcii şi antiquarcii se transformă atât de rapid în particule albe, încât nu pot fi detectaţi departe unul de celălalt.

Acest obiect fizic are o particularitate: quarcii nu trăiesc unul fără altul. Înainte de a se transforma în particule albe quarkul şi antiquarkul sunt strâns legaţi printr-o interacţiune extrem de puternică, indiferent de distanţa pe care se deplasează. În electrodinamică, două sarcini opuse sunt şi ele atrase una spre alta, dar forţa de atracţie scade cu pătratul distanţei. Din acest motiv, în perechea electronpozitron, particulele componente pot fi considerate libere, de îndată ce s-au deplasat una faţă de alta oricât de puţin, astfel încât energia potenţială devine mai mică decât cea cinetică. În cazul perechii quark-antiquark, separarea nu survine niciodată, întrucât energia potenţială a interacţiunii creşte cu distanţa!

Această particularitate se explică prin proprietăţile câmpului care leagă quarcii: spre deosebire de câmpul electric, el nu scade cu distanţa.

Când se generează o pereche quark-antiquark, aceştia se depărtează la

început unul de celălalt. Energia, lor se transformă în energie potenţială de atracţie, ca în cazul a două bile legate între ele cu un resort elastic care se depărtează una de alta. Dar la o energie potenţială foarte mare, sistemul devine instabil, resortul se rupe, sistemul se transformă în două fascicule de particule albe, care merg în direcţii opuse.

S-au mai descoperit şi alte tipuri (sau „arome”) de quarci şi anume „farmec” şi „frumuseţe”.

Teoria mai prezice încă un fel de aromă „vârf”. Acest quark n-a fost deocamdată confirmat experimental. Urmând nomenclatura quarcilor, u, d, s, quarcii amintiţi mai sus se notează e, b, t (după iniţialele cuvintelor englezeşti corespunzătoare (charm, beauty, top).

Există deci quarci şi antiquarci cu şase feluri de arome: u, d, s, e, b, t, iar fiecare dintre aceştia poate avea trei culori. Numărul total de quarci devine 6x2x3 36 (socotind şi antiquarcii).

Să sperăm că inventivitatea naturii s-a epuizat şi că nu se vor mai descoperi şi alţi quarci[34].

Câmpul care lipeşte quarcii

Oricât de importantă ar fi cunoaşterea simetriilor, ele nu epuizează toate proprietăţile obiectelor fizice. Mai trebuie ştiut cum interacţionează şi cum se mişcă! particulele şi câmpurile.

Consideraţiile pe marginea simetriilor ne-au permis să găsim din ce fel de quarci sunt alcătuiţi hadronii. Dar este mult mai greu de înţeles ce anume îi reţine şi cum se mişcă acolo quarcii. În nucleul atomului de hidrogen, electronul este reţinut lângă proton de forţele electrice. Prin analogie, trebuie presupus că există un câmp special care nu le permite quarcilor să se împrăştie. Acest câmp care lipeşte quarcii a fost numit câmp de gluoni, de la cuvântul englezesc „glue” – clei. Ca şi în cazul câmpului electromagnetic, aplicarea mecanicii cuantice duce la modificarea în salturi a energiei câmpului gluonic. Energia câmpului se, modifică în trepte de mărime E ho (X), unde heo este frecvenţa câmpului cu lungimea de undă X. Porţia de energie a câmpului gluonic se numeşte „gluon”, prin analogie cu denumirea cuantei de energie a

34 Quarcii descrişi aici sînt aşa-zişii „quarci de valenţă", întrucît cu ajutorul lor se explică structura particulelor. Pentru o discuţie mai detaliată, vezi Abdus Salam, Ştiinţa, bun al întregii omeniri, Editura Politică, 1985. — Nota trad.

câmpului electromagnetic („cuantă” sau „foton”).

Electrodinamica cuantică s-a dovedit o teorie excelentă: predicţiunile ei se confirmă extrem de precis. În afară de aceasta, ea are şi proprietatea invarianţei de etalonare. Teoreticienii au ajuns la concluzia că invarianţa de etalonare constituie o calitate aproape inalienabilă a teoriei fizice. Din acest motiv, ecuaţiile câmpului gluonic trebuie căutate după modelul şi asemănarea ecuaţiilor electrodinamicii. Din simetria de etalonare decurge, între altele, faptul că gluonul este o particulă fără masă, ca şi fotonul.

Dar există şi o deosebire fundamentală: interacţionând cu câmpul gluonic, quarcii pot să-şi schimbe culoarea, în timp ce electronul nu se schimbă prin interacţiunea sa cu câmpul electromagnetic. Din acest motiv, gluodinamica este mai complicată decât electrodinamica.

Pentru fiecare modificare de culoare a quarcilor trebuie introdus un câmp propriu: roşu-albastru, albastru-galben şi aşa mai departe. În total, apar nouă variante (3x3). De fapt, aşa după cum vom vedea, trebuie introduse nu nouă, ci numai opt câmpuri gluonice. Din trei timpuri, roşuroşu, alb astrualb astru şi galben-galben, se poate forma o combinaţie incoloră – albă care nu trebuie inclusă în categoria câmpurilor de culoare prin care interacţionează quarcii. Pentru a înţelege aceste lucruri, este nevoie de un efort n-ai ce face, simetria nu poate fi văzută uşor.

Să ne amintim ce s-a spus în prima secţiune a acestui capitol despre clasificarea mărimilor care se schimbă în mod diferit la operaţiile de simetrie cum ar fi rotaţiile în spaţiu.

Prin analogie cu simetria spaţială, trebuie să introducem un spaţiu tridimensional al culorilor şi să clasificăm toate mărimile după modul în care se modifică ele la rotaţiile în spaţiu.

Particulele albe nu trebuie să-şi schimbe starea, sau, mai exact, funcţia lor de undă trebuie să rămână neschimbată la rotaţiile în spaţiul culorilor; în raport cu transformările de culoare, particulele albe sunt deci scalari. Funcţia de undă a unui quark nu va rămâne neschimbată; la rotaţii în spaţiul cromatic ea se va modifica în mod determinat.

Pentru a păstra clasificarea barionilor şi mezonilor alcătuită înainte de introducerea culorilor este necesar ca din stările de culoare ale celor trei quarci în număr de 27 (3 x 3 x X 3 27) să se formeze o combinaţie care să nu se modifice la rotaţiile din spaţiul culorilor, adică o stare albă,

corespunzătoare bar ionului. Din cele nouă stări de culoare ale sistemului quark-antiquark (3x3 9) trebuie obţinută o construcţie incoloră mezonul. Alegând toate aromele quarcilor care intră în compoziţia particulelor incolore, vom obţine aceleaşi familii de barioni şi mezoni ca şi înainte de introducerea culorilor.

Întrucât gluonul poate să se transforme virtual (temporar) într-o pereche quark-antiquark, funcţia sa de undă se va transforma şi ea în mod similar cu funcţia de undă a perechii respective şi rezultă că din nouă câmpuri gluonice se poate forma un câmp alb. Simetria cere ca toate cele opt câmpuri gluonice rămase să interacţioneze asemenea quarcilor. Câmpul gluonic alb poate interacţiona complet altfel, având propria sa constantă de interacţiune, deoarece se transformă numai în combinaţii albe de. Quarci. Se pare că acest câmp nu se manifestă niciodată. Să presupunem că nu mai există alte feluri de câmpuri care să influenţeze asupra gluonilor. Din cauza invarianţei de etalonare, masa gluonului este egală strict cu zero, şi nu e greu să ne convingem că în acest caz câmpul gluonic alb este infim.

Într-adevăr, dacă neutronii şi protonii care intră în compoziţia nucleelor de materie, ar genera vreun câmp gluonic alb cât de cât observabil, atunci între corpurile macroscopice ar lua naştere forţe enorme (pentru gluonii fără masă este valabilă legea lui Coulomb) iar câmpul gluonic alb s-ar adăuga la câmpul gravitaţional. Din faptul că la suprafaţa Pământului nu există niciun alt fel de forţe în afară de. Cea a gravitaţiei, rezultă că interacţiunea nucleonilor cu câmpul gluonic alb are o constantă de IO50 ori mai mică decât constanta lor de interacţiune cu pionii, de exemplu.

Ne-am mai întâlnit o dată cu o simetrie care seamănă cu simetria de culoare şi anume atunci când am clasificat barionii şi mezonii. Numai că acolo era vorba despre simetria izotopică şi de simetria în spaţiul a trei arome: u, d, s. Am trecut însă sub tăcere modul în care se poate obţine din quarci familia celor opt mezoni. Acum totul este însă mai uşor.

Dintr-un quark şi un antiquark se pot alcătui nouă combinaţii de arome (sau izotopice). Dintre acestea, una este scalară, (familia cu un singur mezon) iar celelalte opt combinaţii se transformă în spaţiul de arome ca o pereche quark™ antiquark şi formează o familie de opt mezoni…

Ambele simetrii: izotopică (incluzând numai cele trei arome: u, d, s) şi de culoare (simetria în spaţiul celor trei culori) au aceeaşi natură matematică,

deşi se realizează în spaţii diferite. Să ne amintim de cuvintele lui G. Boole, pe care merită să le repetăm: „Eficacitatea unei analize nu depinde de interpretarea simbolurilor ci exclusiv de legile după care se combină aceste simboluri”. În ambele cazuri, acţionează aceeaşi simetrie, pe care matematicienii au notat-a SU (3). Pentru a avea o reprezentare a acestei simetrii, ca şi a altora posibile, este necesar să se studieze un domeniu al matematicii important pentru fizică şi anume teoria grupurilor.

Dar teoria interacţiunilor tari nu se încheie aici. Nu este suficient să obţii proprietăţile transformărilor de culoare ale quarcilor şi cele opt timpuri gluonice. Cea mai importantă problemă rămâne găsirea ecuaţiilor care descriu aceste câmpuri şi interacţiunile lor cu quarcii. Şi, în sfârşit, nu este mai puţin importantă nici rezolvarea ecuaţiilor, sau exprimarea maselor tuturor hadronilor şi interacţiunilor dintre ei prin proprietăţile gluonilor şi quarcilor consideraţi deocamdată „elementari”. Aşa au procedat odinioară fizicienii, atunci când au determinat proprietăţile atomilor şi moleculelor cu ajutorul proprietăţilor nucleelor elementelor şi ale electronilor, tratând nucleele şi electronii ca pe nişte particule elementare.

Comoara uitată

Cum se poate găsi ecuaţia câmpurilor gluonice şi a quarcilor care să reprezinte generalizarea ecuaţiei lui Maxwell pentru câmpul electromagnetic în interacţiune cu electronii?

Aici trebuie să evocăm un caz rar din ştiinţă, pe care l-am putea numi „noul este vechiul uitat”. Încă în 1954, doi teoreticieni, Cijen-nin Yang şi R. Mills, jucau un joc matematic. Ei şi-au propus generalizarea electrodinamicii la cazul a trei tipuri de câmpuri invariante la etalonare, care se transformă unul prin celălalt la fel cum se transformă cele trei câmpuri pionice: pozitiv, negativ şi neutru, la rotaţiile din spaţiul izotopic. Era numai un joc, întrucât pe atunci se părea că nici nu poate fi vorba de obiecte fizice cărora să li se aplice o astfel de teorie, înainte de toate, a ieşit în evidenţă următoarea împrejurare: se pot introduce atare câmpuri numai dacă se presupune că acestea interacţionează. În absenţa sarcinilor, câmpul electromagnetic nu interacţionează cu sine însuşi; fără sarcini, ecuaţiile lui Maxwell sunt liniare. Dar ecuaţiilo Yang-Mills s-au revelat în mod necesar neliniare. Ele a. U fost determinate univoc din cerinţa de invarianţă la etalonare şi de simetrie în

spaţiul izotopic. La Yang şi Mills cele trei câmpuri aveau sarcinile „0. Ele îşi puteau schimba sarcina, interacţionând cu nucleonii (transformând protonul în neutron şi invers). Şi, ceea ce este de remarcat, câmpurile interacţionează cu nucleonul cu aceeaşi sarcină ca şi între ele.

De îndată ce s-a pus în evidenţă existenţa culorilor gluonilor şi quarcilor, s-a născut ideea descrierii câmpurilor respective cu ajutorul unor ecuaţii de tip Yang-Mills. Aceste ecuaţii trebuiau însă generalizate pe cazul nu a trei câmpuri, ci a opt câmpuri care se formau în spaţiul culorilor. În afară de sarcina electrică, era totodată necesar să se atribuie quarkului şi o sarcină, specială, cea de culoare, care să determine interacţiunea lui cu câmpul gluonic, aşa după cum sarcina electronului determină interacţiunea acestuia cu câmpul electromagnetic.

Teoreticienii au dispus astfel de un aparat matematic care le-a permis să anticipeze fenomene noi.

Acest caz este un exemplu excelent în care o construcţie frumoasă îşi găseşte în cele din urmă o aplicaţie. Întreaga dezvoltare ulterioară a fizicii particulelor elementare a confirmat speranţele teoreticienilor. Generalizarea ecuaţiilor Yang-Mills, împreună cu ecuaţiile timpurilor de quarci descriu efectiv interacţiunile tari ale particulelor elementare. Prin analogie cu electrodinamica, această teorie s-a numit „cromodinamică” (de la cuvântul grecesc „xpojjioç” culoare). Deocamdată nu s-a reuşit să se rezolve aceste ecuaţii în toate cazurile. Spre deosebire de cazul electrodinamicii, interacţiunea câmpurilor de gluoni şi de quarci la distanţe mari nu este mică, fapt care îngreunează extrem de mult aflarea soluţiilor.

Ecuaţiile Yang-Mills au multe proprietăţi uimitoare, dar nu se poate să nu amintim una dintre ele. Adevărata interacţiune a gluonilor şi quarcilor este foarte mică. Totuşi” fiecare quark atrage spre sine câmpul gluonic şi din acest motiv este înconjurat de un nor gluonic care îi amplifică interacţiunea cu un alt quark sau cu câmpul gluonic. O astfel de sarcină efectivă coincide cu cea reală (sau, cum se mai spune câteodată cu sarcina „goală”) când distanţele dintre quarci sau fasciculele de gluoni sunt foarte mici. Pe măsura creşterii distanţei, sarcina se măreşte, la început mai lent, apoi, la distanţe comparabile cu ordinul de mărime al dimensiunilor hadronilor (IO-14 cm), creşte brusc. La energii mari, când particulele se apropie una de alta la distanţe foarte mici, sarcina se micşorează, iar interacţiunea dintre quarci scade. Acest fenomen se

numeşte „libertate asimptotică”. Dar, la distanţe mici, cromodinamica nu este mai complicată decât electrodinamica. Din acest motiv, soluţiile ecuaţiilor cromodinamicii sunt bine studiate la energii mari.

Fenomenul uimitor de micşorare a sarcinii o dată cu creşterea energiei s-a confirmat experimental, fiind în concordanţă cantitativă cu teoria. S-au lămurit astfel multe fenomene interesante din domeniul energiilor înalte, ca, de pildă, generarea multiplă de particule la ciocnirea electronului cu pozitronul.

Dar exact în domeniul de dimensiuni şi de energii care determină structura hadronilor, şi deci şi masa lor, sarcina este mare, şi deocamdată soluţia nu poate fi găsită analitic.

Este necesar de asemenea să se explice, de ce, în experimente, în stare liberă, apar numai particule albe. Am amintit fără demonstraţie că la distanţă, câmpul gluonic al quarkului şi, în general al oricărui obiect colorat, nu scade cu distanţa. Spre deosebire de câmpul electric din jurul unei sarcini electrice punctuale, liniile de forţă ale câmpului gluonic nu sunt răspândite uniform în toate direcţiile, ci sunt concentrate într-un fascicul îngust care uneşte quarkul şi antiquarkul, sau, în cazul quarkului izolat, fasciculul merge la infinit. Dar, dacă lucrurile stau aşa, atunci energia obiectului colorat va fi infinit de mare, pe seama energiei câmpului gluonic dintr un cilindru care merge de la sarcina de culoare, la infinit. Prin urmare, e uşor de înţeles de ce quarcii nu pot trăi unul fără altul şi de ce numai obiectele albe există în stare izolată. Particulele albe nu au un câmp gluonic crescător, ele sunt neutre gluonic.

Din nefericire, această proprietate foarte verosimilă a câmpului gluonic n-a putut fi demonstrată convingător până acum.

În ultimii ani, teoreticienii au primit un sprijin neaşteptat: o parte a muncii lor a fost preluată de calculatoarele electronice. În acest fel, ecuaţiile cromodinamicii se pot rezolva numeric, însă ce-i drept, deocamdată doar în mare. Rezultatele ne conving însă de corectitudinea cromodinamicii nu numai pentru energii mari, ci şi pentru energii mici. Masele şi interacţiunile hadronilor obţinute teoretic s-au dovedit apropiate de cele experimentale.

Aşa au fost trezite la o nouă viaţă ecuaţiile pe jumătate uitate ale lui Yang-Mills, devenind baza unuia dintre domeniile cele mai importante ale teoriei particulelor elementare – teoria interacţiunilor tari.

CUM LUCREAZĂ FIZICIENII

A

I

n acest capitol vom examina mai îndeaproape modul în care lucrează fizicienii teoreticieni. Desigur că mă limitez la fizica teoretică, întrucât e profesiunea mea şi pentru mine este mai uşor – şi în acelaşi timp mai interesant – să vorbesc despre ea.

Particularităţile activităţii fizicienilor teoreticieni pot fi urmărite uşor examinând principalele evenimente ale dezvoltării teoriei cuantice, de la întemeiere, când sensul presupunerilor făcute era complet neclar, şi până la înţelegerea profundă survenită în timpul disputelor lui Niels Bohr cu Einstein. De la analiza generală, vom trece la una mai concreta, şi anume, la modul de lucru al fizicienilor în primele stadii, când fac estimări ale mărimilor fizice şi ale relaţiilor dintre ele, încă înainte de încercarea soluţiei exacte. Apoi vom arăta cum se aplică o astfel de analiză calitativă la problemele mecanicii cuantice şi la cuantificarea timpurilor.

Dar mai întâi să vorbim despre sarcinile şi particularităţile fizicii şi despre legăturile ei cu matematica.

Sarcinile fizicii

Fără participarea imaginaţiei, toate informaţiile noastre despre natură s-ar limita la o clasificare de fapte.

D. Tyndall

Există două profesii apropiate şi în acelaşi timp diferite: fizica experimentală şi fizica teoretică. Ele au un scop comun: cunoaşterea lumii obiectelor; metodele lor sunt diferite, dar sunt de neconceput una fără alta.

Fizicianul îşi formulează legile folosindu-se de noţiuni din matematică şi de aparatul matematic, dar problemele şi metodele din matematică şi din fizică se deosebesc radical.

Vom menţiona, desigur, numai în linii foarte generale, direcţiile principale şi cele mai importante sarcini ale fizicii.

Experimentatorii şi teoreticienii

Există două feluri de fizicieni – experimentatori şi te-, oreticieni şi aceste două profesii nu se întrunesc aproape niciodată în una şi aceeaşi persoană. Fizicienii experimentatori studiază relaţiile dintre mărimile fizice sau, vorbind mai academic, descoperă legile naturii folosind instalaţii experimentale, adică efectuând măsurători ale mărimilor fizice cu ajutorul aparatelor. Pentru a şti cum şi ce să măsori, trebuie să fi înţeles în profunzime legăturile dintre mărimile studiate. Fizicienii teoreticieni studiază natura folosindu-se numai de hârtie şi creion; bazându-se pe legile naturii descoperite mai înainte experimental şi teoretic, deduc noi relaţii între mărimile observabile. Cauza diferenţierii acestor două profesii nu se reduce la faptul că fiecare presupune cunoştinţe speciale – cunoaşterea metodelor de măsurare şi respectiv stăpânirea aparatului matematic. Principala cauză constă în faptul că cele două profesii necesită tipuri diferite de gândire şi forme diferite de intuiţie. Intuiţia, care este capacitatea de a găsi instinctiv calea cea bună, joacă un rol de cea mai mare importanţă, mai ales în primele stadii ale unei lucrări. Întrucât fizica teoretică are de-a face cu noţiuni mai abstracte decât fizica experimentală, fizicianul teoretician trebuie să posede o formă mai abstractă de intuiţie, apropiată uneori de intuiţia matematicianului.

În secolul trecut, când fizica nu era atât de specializată ca astăzi, mulţi fizicieni îmbinau armonios ambele profesii. Astfel, James Clark Maxwell, care a obţinut nişte ecuaţii uimitoare, care asociau electricitatea, magnetismul şi optica, se ocupa şi de experimente. Heinrich Hertz, care a descoperit experimental undele electromagnetice, era totodată şi un bun teoretician. Şi totuşi, în fiecare dintre aceste exemple se poate spune care anume era profesia lor principală: pentru Maxwell, fizica teoretică, iar pentru Hertz fizica

experimentală.

Unul dintre eminenţii fizicieni experimentatori din secolul al XX-lea a fost învăţatul englez Ernest Rutherford. Studiind împrăştierea particulelor alfa pe atomi, el a stabilit existenţa nucleului, încărcat cu sarcină electrică pozitivă şi având o rază de zece ori mai mică decât raza învelişului atomic. Un mare fizician teoretician a fost Albert Einstein. Folosindu-se numai de hârtie şi creion, el a formulat teoria relativităţii, conform căreia timpul se scurge în mod diferit într-un sistem în repaus, faţă de un sistem aflat în mişcare uniformă în raport cu observatorul. Aşa cum au demonstrat-o experimentele din ultimele decenii, particulele instabile care se deplasează cu viteză mare, cum sunt miuonul sau mezonul pi, se dezintegrează mai lent decât particulele aflate în repaus, fapt aflat în concordanţă exactă cu predicţiunile teoriei relativităţii. La viteze din ce în ce mai apropiate de viteza luminii, timpul de viaţă al particulei creşte nelimitat.

Remarcabilul fizician italian Enrico Fermi, autorul multor lucrări teoretice, a elaborat teoria dezintegrării nucleare şi, împreună cu grupul lui de fizicieni, a descoperit experimental faptul că aproape toate elementele devin radioactive în urma bombardării cu neutroni. Dar şi în acest caz putem spune că profesia lui principală a fost fizica teoretică.

Un teoretician excelent, strâns legat de preocupările experimentale a fost şi regretatul academician Gherş Iţkovici Budker, la care fizica teoretică era asociată cu remarcabile idei inginereşti. El a elaborat teoretic acceleratorul de particule încărcate cu fascicule încrucişate şi a condus construirea acestuia la Novosibirsk. Într-un astfel de accelerator, toată energia este dirijată către producerea de noi particule în timp ce în cazul ţintei fixe, crearea de noi particule preia ’numai o proporţie redusă din energia particulelor accelerate.

Excepţiile enumerate confirmă regula şi tânărul care se simte atras de fizică trebuie să se decidă pe care dintre cele două profesii o va alege.

Fizica şi matematica

Sarcina fizicianului teoretician este să obţină relaţii între mărimile observabile, folosind calcule matematice. Dar nu înseamnă aceasta oare că fizica teoretică este oarecum, asemănătoare cu matematica aplicată? Nicidecum. Şi după caracterul problemelor, şi după metodele de a le aborda,

matematica şi fizica se deosebesc în mod categoric.

În matematică, rolurile cele mai importante sunt jucate de rigurozitatea logică, de ireproşabilitatea tuturor deducţiilor, asociate cu studierea tuturor relaţiilor logic posibile, care decurg din axiomele adoptate. Sarcina fizicii este să schiţeze, în limita posibilităţilor, un tablou exact al lumii, fără reguli prea severe ale jocului, folosind pentru aceasta toate faptele teoretice şi experimentale, toate deducţiile bazate pe intuiţie, care urmează apoi să fie verificate experimental. Matematicianul studiază toate tipurile de geometrii logic posibile, dar fizicianul este acela care stabileşte ce relaţii geometrice se realizează în lumea noastră.

Chiar dacă se ocupă de probleme aplicative, apărute în afara matematicii, matematicianul abordează probleme care nu necesită niciun fel de presupuneri complementare neenunţate. De regulă, fizicianul are de-a face cu probleme în care datele iniţiale nu sunt suficiente pentru rezolvare, şi arta lui constă tocmai în a intui care dintre relaţiile res-, pective se realizează în natură. Dar pentru aceasta este ne cesară nu intuiţia matematică, ci intuiţia fizică.

În fizică, credibilitatea se dobândeşte dacă, plecând de la presupuneri iniţiale diferite, se ajunge la acelaşi rezultat. De fiecare dată este necesară introducerea unor „axiome” suplimentare, care nu sunt logie necesare, fiecare dintre ele nefiind în sine absolut sigură. Condiţia unică este aprecierea corectă a gradului de credibilitate al uneia sau alteia dintre presupunerile făcute. Mai trebuie înţeles în mod clar care dintre ele necesită verificări ulterioare.

Este, desigur, foarte util să se analizeze structura teoriei fizice, adică să se clarifice care sunt presupunerile din care decurg rezultatele. Totuşi, într-o astfel de abordare axiomatică, faptul cel mai important nu este generalitatea şi rigoarea matematică a deducţiilor, ci alegerea corectă a supoziţiilor, precum şi aprecierea care dintre presupuneri este mai sigur dovedită experimental, ceea ce implică intuiţia fizică. Când un matematician efectuează o astfel de activitate, el devine în mod obligatoriu, fie şi numai pentru un timp, fizician teoretician. Altfel riscă să se găsească, aşa cum spunea satiricul polonez E.Lec, în postura eschimosului care elaborează reguli de comportare pe timp de caniculă pentru locuitorii din Congo.

Aşadar, matematica şi fizica sunt ştiinţe cu sarcini diferite şi cu metode

diferite de abordare a lor.

În matematică, certitudinea rezult at elo’ se dobândeşte prin rigurozitate logică şi prin analiza tuturor soluţiilor logic posibile. În fizică, se examinează numai soluţiile care se pot realiza în natură, iar certitudinea se obţine prin verificarea multiplă a presupunerilor făcute. În fizică, rigurozitatea matematică reprezintă un lux imposibil şi inutil. Aşa cum nu se poate pretinde tăietorilor de lemne să vorbească în versuri, tot aşa nu se poate pretinde fizicianului să fie un bun matematician. Dar fizicianul teoretician trebuie să stăpânească bine aparatul matematic, să cunoască şi să ştie să se folosească de toate metodele matematice care ar putea să-i fie folositoare la rezolvarea problemelor fizicii.

Căile de dezvoltare

Dacă vreun domeniu al fizicii ar putea atinge vreodată un asemenea stadiu de dezvoltare, încât toate rezultatele sale să se deducă din câteva axiome strict determinate experimental, domeniul respectiv ar înceta să mai constituie o parte componentă a ştiinţei fizicii aflate în dezvoltare şi s-ar tranisorma într-un capitol al matematicii aplicate sau al tehnicii. Aşa s-a întâmplat de pildă cu mecanica clasică şi cu cea relativistă, precum şi cu electrodinamica.

Să enumerăm acum principalele direcţii după care se dezvoltă fizica teoretică.

Este vorba, în primul rând, de obţinerea relaţiilor cantitative între mărimile observabile. De pildă, folosindu-se de legile mişcării electronilor în metale, teoreticienii au calculatcurba dependenţei rezistenţei electrice faţă de temperatură şi au explicat astfel natura supraconductibilităţii.

O altă direcţie o constituie interpretarea, experimentelor fizice şi calculul lor teoretic. Teoreticienii care lucrează în acest domeniu, nu numai că efectuează de obicei calcule, ci şi propun experimente care sunt deosebit de importante pentru dezvoltarea teoriei. Dată fiind creşterea costului

experimentelor, această direcţie devine tot mai importantă.

Fizica aplicată se ocupă de probleme care, în viitorul previzibil, ar putea duce la rezultate practice. Una dintre cele mai importante sarcini ale fizicii aplicate este obţinerea supraconductibilităţii la temperaturi înalte[35] sau realizarea reacţiei termonucleare dirijate.

O altă direcţie este fundamentarea unor metode adecvate de descriere matematică a legilor naturii. Aici sunt incluse utilizarea şi dezvoltarea acelor metode ale matematicii, care permit punerea în evidenţă a proprietăţilor de simetrie ale legilor naturii. Realizarea cantitativă a ideilor teoriei generale a relativităţii (teoria gravitaţiei) a devenit posibilă numai ca rezultat al folosirii metodelor de descriere a proprietăţilor geometrice variabile de la un punct la altul[36]. Pentru cele mai multe probleme ale fizicii teoretice, procedeul cel mai adecvat de rezolvare a problemelor este folosirea calculatorului.

Şi, în sfârşit, calea cea mai importantă şi pentru fizica teoretică şi pentru fizica experimentală este căutarea principiilor generale care stau la baza legilor naturii, cum sunt cauzalitatea, legile de conservare, proprietăţile de simetrie ale naturii…

Aşadar, sarcina fizicii constă în indicarea drumului către înţelegerea unităţii, simetriei şi dinamicii fenomenelor, a căi» lor pentru înţelegerea frumuseţii Universului şi pentru folen sirea legilor naturii spre binele omenirii.

Cum a fost creată mecanica cuantică?

Trebuie oare să flămânzesc numai pentru: că nu înţeleg în întregime procesul digestiei?

O. H cavisid e (umil dintre fondatorii calculi. Hii operaţional)

Istoria apariţiei şi dezvoltării teoriei cuantice ilustrează pregnant munca fizicienilor. Vom vedea cum se aplică metodele specifice ştiinţei, care au fost prezentate în capitolul „Psihologia creaţiei ştiinţifice”. Toate rezultatele importante ale teoriei s-au obţinut încă înainte de a se fi clarificat semnificaţia fizică a supoziţiilor şi acesta este, poate, faptul cel mai interesant! Înţelegerea

35 Metalele supraconductoare au rezistenţa practic nulă. Reţelele electrice supraconductoare ar evita pierderile, dar sîni greu de întreţinut din cauza temperatrrii foarve joase necesare. Recent, în unele laboratoare, au fost obţinute substanţe supraconductoare la temperatură normală, adică „înaltă" — Nota trad.

36 Proprietăţi locale sau punctuale. — Nota tradi

a venit treptat, pe măsură ce s-a avansat în cunoaştere.

Din scurtele noastre consideraţii aţi putut remarca până acum că teoria relativităţii restrinse şi teoria gravitaţiei au apărut într-un mod complet diferit. În cazul acestor două teorii, ideile fizice clare şi profunde au precedat teoria în forma ei finită. Este posibil ca acesta să fi fost cântecul de lebădă al ştiinţei clasice din secolul trecut.

Pentru secolul al XX-lea, este caracteristic mersul înainte fără baze prea solide, cu ajutorul unor intuiţii vagi, care se clarifică treptat şi se înlocuiesc cu altele. Într-un cu vânt, se practică metoda încercărilor şi greşelilor, pe care am exemplificat-o prin descoperirea quarcilor. Când se istorisesc descoperirile importante, nu se aminteşte de loc, sau se aminteşte numai în treacăt despre ipotezele greşite, şi istoria ştiinţei apare ca un şir neîntrerupt de inspiraţii fericite. Se înţelege că situaţia nu este aceasta. Au existat multe bâjbâieli în întuneric şi multe abateri din drum. Din momentul în care s-a descoperit că, aparent, în dezintegrarea ß, energia nu se conservă şi până când a devenit clar că o parte din energie este preluată de neutrino, unii fizicieni au presupus că legea conservării energiei este încălcată în procesele individuale, rămânând în vigoare numai în medie.

Desigur că analiza succeselor este mai avantajoasă decât cea a erorilor. Nu ne vom ocupa de istoria fizicii, ci vom încerca doar să urmărim mersul ideilor, drept care ne vom limita la succese.

Începutul erei cuantice între altele, secolul trecut, ne-a lăsat moştenire două mari paradoxuri: contradicţiile eterului şi „catastrofa Rayleigh Jeans”. Primul paradox a fost înlăturat de teoria relativităţii. Cel de-al doilea a dus la apariţia teoriei cuantice.

În 1900, Max Planck şi-a propus să explice cauzele distribuţiei stranii după frecvenţe a intensităţii radiaţiei electromagnetice aflată în echilibru termic într-o cutie cu pereţii încinşi (radiaţia corpului „negru”). Trebuia explicată legea empirică a lui Wien, după care, la frecvenţe mari, intensitatea radiaţiei scade exponenţial dacă frecvenţa creşte, în timp ce, după statistica clasică, densitatea energiei trebuia să crească odată cu frecvenţa. La începutul capitolului al doilea, am amintit despre „catastrofa Rayleigh-leans”.

Planck a descoperit că singura posibilitate de a explica paradoxul este să se presupună că particulele care emit unde cu frecvenţa co, pot să-şi

modifice energia numai în porţii discrete AE heo. Coeficientul de proporţionalitate h a intrat. În ştiinţă sub numele de constanta lui Planck, despre care am mai vorbit.

Să presupunem că pereţii cutiei conţin o mulţime de emir ţători la toate frecvenţele posibile. Cum vor fi excitaţi emitaiurii din câmpul termic? Emiţătorii de frecvenţă mică se vor comporta după legile fizicii statistice clasice, pentru ei caracteristica discretă (în salturi) fiind neesenţială. Ei vor dobâncli o energie corespunzătoare temperaturii pereţilor Dar emiţătorii care au o frecvenţă mai mare, pentru care heo este mult mai mare decât energia termică medie, vor avea aproape toţi o energie minimă. Numai o mică parte va fi excitată. Pentru a-i excita, trebuie să li se transmită energia heo, dar cu ajutorul ciocnirilor nu se poate transmite o energie mult mai mare decât energia termică a unei particule. Probabilitatea unui astfel de transfer este exponenţial mică. Aceşti emiţători sunt parcă îngheţaţi, din care motiv, intensitatea luminii emisă de ei este exponenţial mică. Aşa se explică legea lui Wien. Bazânda-se pe presupunerea că energia emiţătorilor se modifică discret, Planck a obţinut o formulă care descria distribuţia experimentală a intensităţii pentru toate frecvenţele, în funcţie de temperatura pereţilor. Pentru a se pune de acord cu experienţa, era suficientă alegerea adecvată a mărimii constantei h. Aşa s-a obţinut valoarea numerică a acestei mărimi: h IO™27 erg.s. Este clar din ce cauză în alte cazuri caracteristica în salturi a emiţătorilor nu se manifestă: porţiile de energie sunt atât de mici, încât modificările energiei par continui.

Undă sau particulă?

Următorul eveniment important s-a petrecut în 1905, an în care a apărut celebra lucrare a lui Einstein, consacrată efectului fotoelectric: desprinderea electronilor din atom, în urma iradierii. În această lucrare s-a demonstrat că efectul fotoelectric poate fi explicat numai dacă se presupune că lumina este alcătuită din particule (fotoni) care, lovindu-se de electron, îl expulzează din atom. Reprezentarea luminii ca undă nu putea explica acea concentrare a energiei pe un singur electron, necesară pentru desprinderea acestuia.

Einstein a demonstrat că la absorbţia sau emiterea unei cuante de lumină (a fotonului), dispare sau se creează un impuls o heo/e. În felul acesta, fotonul are un impuls legat de lungimea de undă X prin relaţia o

X

Aici am folosit legătura bine cunoscută dintre frecvenţa co şi lungimea de undă X, şi anume, co 2nc/X.

Energia undei cu o frecvenţă dată se poate modifica numai în porţii heo, analog modificării energiei emiţătorilor în raţionamentele lui Planck. Astfel, caracterul discret a fost extins şi la undele electromagnetice. Mai mult, formula lui Planck se obţine din supoziţia că radiaţia electromagnetică din cutie este un gaz de particule-fotoni care se află în stare de echilibru termic cu pereţii cutiei. Remarcăm, între altele, că Einstein a primit premiul Nobel în 1922 tocmai pentru teoria efectului fotoelectric, şi nu pentru cea mai mare realizare a sa – teoria relativităţii şi teoria gravitaţiei.

Într-un anume sens, punctul de vedere al lui Einstein a însemnat o revenire la teoria corpusculară newtoniană. A reapărut întrebarea la care Newton n-a putut să răspundă şi anume cum pot fi unificate cele două reprezentări: despre natura ondulatorie a luminii, demonstrată de experimentele de interferenţă şi difracţie şi despre natura ei corpusculară, necesară explicării efectului fotoelectric. A apărut un paradox important – „dualismul undă-particulă”.

Postulatele lui Niels Bohr în 1913, a văzut lamina tiparului celebra lucrare a lui Niels Bohr în care el a extins la atom caracterul discret al valorilor posibile ale energiei emiţătorilor, propus de Planck pentru explicarea proprietăţilor radiaţiei de echilibru. După Bohr, nu toate orbitele sunt posibile, ci numai unele. El a stabilit regulile pentru găsirea orbitelor posibile ale electronului.

Din punctul de vedere clasic, electronul, rotindu-se în jurul nucleului (modelul planetar al atomului) trebuie să radièze unde electromagnetice. Rotindu-se, electronul se mişcă accelerat, dar conform legilor mecanicii clasice, numai sarcina care se deplasează rectiliniu şi uniform nu radiază.

Conform regulilor lui Bohr, electronul poate radia lumină numai atunci când trece de pe o orbită pe alta, şi numai în porţii cu fecvenţa co (En – Em) /h. Aici En şi Em sunt valorile posibile pentru energiile orbitei a n-a şi a m-a.

Există o orbită cu energie minimă posibilă, stare în care electronul rămâne un timp nelimitat, întrucât nu are unde să mai treacă. Aşa s-a explicat stabilitatea atomului. Regulile de cuantificare ale lui Bohr au explicat faptul că

atomii emit lumină de frecvenţe riguros discrete şi au permis să se exprime aceste frecvenţe prin sarcina nucleului, sarcina şi masa electronului şi constanta lui Planck.

În felul acesta, teoria a descris toate proprietăţile importante ale atomilor, lăsând neexplicată semnificaţia regulilor de cuantificare ale lui Bohr. Niels /Bohr şi-a denumit pe bună dreptate regulile „postulate” adică presupuneri nedemonstrate.

Semnificaţia lor a devenit clară numai după apariţia me-r canicii cuantice.

Regulile de cuantificare ale lui Bohr constituie unul dintre cele mai uimitoare momente din istoria ştiinţei. Numai o străfulgerare de geniu a făcut posibilă apariţia acestei teorii la acea dată şi pe baze atât cie şubrede! Comentând faptul, Einstein a spus: „Aceasta reprezintă cea mai înaltă muzicalitate în domeniul gândirii teoretice”.

Intuiţia lui de Broglie

Abia în 1923 s-a petrecut un eveniment menit să explice sensul regulilor de cuantificare. La început însă, el n-a făcut decât să acutizeze problema particulă-undă. Fizicianul francez Louis de Broglie a presupus că particulele se supun aceluiaşi dualism ca şi lumina; particulele trebuie descrise printr-un proces ondulatoriu cu lungimea de undă X? legată de impulsul o în acelaşi fel ca şi lungimea de undă a particulelor de lumină (a fotonilor), adică prin relaţia X 27ch/p.

După patru ani, această uimitoare predicţiune era deja confirmată de experiment. C. Davisson, L. Germer şi J.P. Thomson au descoperit difracţia electronilor în cristale. Electronul se comportă într-adevăr ca o undă!

S-a confirmat astfel nu numai natura ondulatorie a electronului, ci – cu precizie – şi formula lui de Broglie pentru lungimea de undă a electronului. Istoria ă-a repetat, dar în sens invers: în cazul luminii, a fost studiată întâi natura ondulatorie şi abia apoi cea corpusculară, în timp ce în cazul electronului, întâi natura corpusculară şi apoi cea ondulatorie.

Mecanica cuantică

Pasul următor îl constituie generalizarea intuiţiei lui de Broglie. În 1926, Erwin Schrö, dinger a obţinut celebra sa ecuaţie pentru funcţia de undă

(funcţia tp) a unei particule care se mişcă în câmp extern. În spaţiul liber, această ecuaţie devine ecuaţia unei unde cu lungimea constantă, soluţia ei este tocmai unda lui de Broglie. Dar, în câmp extern, aşa cum ar fi câmpul coulambian al nucleului, lungimea de undă se modifică de la un punct la altul. În cazul unui câmp care se modifică lent, este deosebit de uşor să se găsească această ecuaţie. Atunci şi lungimea de undă se modifică lent, şi în fiecare punct, ea se determină prin formula lui de Broglie, dar cu un impuls variabil de la un punct la altul, o (r). Acesta poate fi aflat din expresia energiei:

2m

Aici, primul termen este energia cinetică, al doilea, energia potenţială. Ecuaţia lui Schrödinger se obţine cu uşurinţă din ecuaţia undei a lui de Broglie, în care intră termenul p2p, dar unde trebuie schimbat numai impulsul o în p (r). Probabil că nişte consideraţii analoage l-au ajutat şi pe Schrödinger să descopere această remarcabilă ecuaţie.

Mai târziu, s-a dovedit că soluţiile ecuaţiei lui Schrödinger pentru atomul de hidrogen sunt în concordanţă cu regulile de cuantificare ale lui Bohr, dar nu pentru toate valorile energiei, ci numai pentru valorile discrete care coincid cu valorile decurgând din regulile lui Bohr. S-au lămurit şi multe dintre detaliile structurii atomilor, care nu fuseseră explicate de postulatele lui Bohr. S-a clarificat şi sensul regulilor de cuantificare, şi anume că în zona în care se mişcă electronul trebuie să intre un număr întreg de unde ale lui de Broglie. Dar despre acestea vom vorbi mai amănunţit în capitolele următoare, unde vom găsi până şi soluţia ecuaţiei Schrödinger simplificată pentru diferite cazuri.

Cu câteva luni înainte de Schrödinger, Werner Heisenberg a propus o altă variantă a teoriei cuantice. Pornind de la principiul observabilităţii, el a reprezentat mărimile ca totalitatea amplitudinilor posibile de trecere dintr-o stare a sistemului cuantic în altele. Probabilitatea trecerii este proporţională cu pătratul amplitudinii, mai exact cu pătratul modulului amplitudinii, – aceasta fiind o precizare pentru cei familiarizaţi cu numerele complexe. Tocmai astfel de amplitudini „de tranziţie” se observă în experimente. În atare reprezentare, fiecare mărime are doi indici, care definesc stările iniţială şi finală ale sistemului. Aceste mărimi se numesc „matrice”. De exemplu,

coordonatei o îi corespunde o matrice – totalitatea elementelor de matrice qmn, unde în şi n, sunt două stări ale sistemului. Heisenberg a găsit un sistem complet de ecuaţii din care, în principiu, se pot găsi toate mărimile observabile. Totuşi, în forma ei iniţială, mecanica matricială a lui Heisenberg părea nejustificat de complicată în comparaţie cu mecanica ondulatorie a lui Schrödinger. Dar, în 1926, Schrödinger a demonstrat echivalenţa deplină a celor două descrieri. Mecanica matricială şi mecanica ondulatorie s-au unificat în cadrul mecanicii cuantice.

Astăzi fizicienii au de-a face în mod firesc cu matricele, iar ecuaţiile matriciale nu mai par atât de complicate. Dar, pentru a obţine rezultate analitice, este mai comod, ca să spunem aşa, să se treacă la reprezentarea coordonatelor, şi în locul ecuaţiilor pentru matrice, să se rezolve ecuaţia lui Schrödinger.

În cartea *Lumea probabilista*, Daniii Danin descrie în toate detaliile şi uimitor de poetic drama apariţiei mecanicii cuantice. Danin relatează un fapt deosebit de instructiv: „în vara anului 1925, pe când mecanica ondulatorie încă nu exista, iar cea matricială abia apăruse, doi teoreticieni din Göttingen şi-au călcat pe inimă şi s-au dus la celebrul David Hilbert, şeful recunoscut al şcolii matematice de acolo. Având necazuri cu matricele, ei au cerut ajutorul unei autorităţi de talie mondială. Hilbert i-a ascultat şi le-a spus ceva de-a dreptul uimitor; de fiecare dată când i s-a întâmplat să aibă de-a face cu aceste tabele pătrat ice, ele îi apăreau în calcule ca «un fel de produs secundar» la rezolvarea ecuaţiei de undă.

— Astfel că, dacă veţi căuta ecuaţia de undă care generează astfel de matrice, veţi reuşi, probabil, să le biruiţi mai uşor”.

După cum spune americanul Edward Condon, cei doi erau Max Born şi Werner Heisenberg. Finalul este următorul: „Amândoi teoreticienii au decis că ori au primit cel mai stupid sfat, ori Hilbert pur şi simplu n-a înţeles despre ce este vorba. În schimb, Hilbert s-a amuzat copios, demonstrându-le că ei ar fi putut să descopere mecanica ondulatorie cu şase luni înainte de Schrödinger, dacă ar fi acordat mai multă atenţie spuselor sale hilbertiene”.

Aici se încheie prima etapă’a dezvoltării mecanicii cuantice. Cu toate succesele noii mecanici, problema centrală rămânea nerezolvată: ce este funcţia de undă, instrumentul de bază al teoriei?

Coordonata sau viteza?

În 1927, Werner Heisenberg a făcut un pas important pe calea înţelegerii semnificaţiei fizice a noii mecanici. Analizând posibilitatea măsurării coordonatei şi impulsului electronului, el a ajuns la concluzia că, în condiţiile cele mai avantajoase pentru măsurarea poziţiei, este dificil să se determine impulsul şi invers. În acest sens, cele două noţiuni sunt complementare una faţă de alta. Pentru demonstraţie, (el a folosit experimentul mental. Iată pe scurt schema unuia dintre experimente.

Pentru a determina poziţia electronului, acesta trebuie iradiat cu lumină şi privit la „microscop”. Un astfel de mijloc de determinare a coordonatei dă o nedeterminare A o de ordinul lungimii de undă X a luminii folosite: A q «X.

Pentru precizarea poziţiei electronului, trebuie folosită lumina cu o lungime de undă cât mai mică. Dar aceasta este o sabie cu două tăişuri. La interacţiunea cu electronul, lumina îi dă un impuls. Pentru a micşora impulsul transmis, se poate micşora într-atât intensitatea luminii, încât un singur foton să interacţioneze cu electronul. Impulsul minim transmis în acest caz electronului va fi de ordinul de mărime al impulsului unei cuante, iar impulsul cuantei este legat de lungimea de undă prin relaţia o din care cauză nedeterminarea impulsului electronului À o 2ttlilX. Înmulţind cu X şi înlocuind pe X cu Aq, obţinem: A o A o 27rh.

Aceasta este chiar relaţia de nedeterminare.

Să încercăm să măsurăm coordonata electronului cu un alt mijloc – vom trece un fascicul de electroni printr-o fantă în ecran; alegem planul ecranului perpendicular pe fascicul. Un experiment asemănător s-a făcut de multe ori cu lumina şi se ştie bine ce anume se obţine. Dacă în spatele fantei se pune un al doilea ecran, pe acesta vom vedea o pată clară cu aceleaşi dimensiuni ca fanta, dar marginile petei vor fi difuze; pata se măreşte. La marginile fantei, lumina se curbează – cèea ce este o consecinţă a naturii ondulatorii a luminii. Se obţine un fascicul luminos în interiorul unui anumit unghi. Acest unghi – unghiul de difracţie – are valoarea © X/d, unde X este lungimea de undă, iar ci este diametrul fantei. Dacă distanţa dintre fantă şi al doilea ecran este L atunci raza o tei de difacţie va fi R 1© Xild. În jurul petei centrale se succed inele concentrice întunecate şi luminoase care scad repede ca intensitate.

Curbarea razelor de lumină se poate observa uşor, dacă se acoperă aproape complet cu o riglă în lumina provenită de la un beculeţ. În locul pe unde trece lumina, rigla pare ştirbită. Undele sonore sunt mult mai lungi

decât cele optice şi, din acest motiv, sunetul ocoleşte mai uşor obstacolele.

Întrucât electronul este legat de procesul ondulatoriu, în mod asemănător se va obţine un tablou de difracţie şi la trecerea unui fascicul de electroni prin fantă. În momentul trecerii prin fantă, coordonata transversală a electronului va fi determinată cu o precizie A q-o, unde ci este diametrul fantei.

Ce se va întâmpla de cealaltă parte a ecranului? Conform legilor difracţiei, după trecerea prin fantă, se obţine un fascicul având toate direcţiile, aflat în unghiul de difracţie 0 X/d. Dar acum X este lungimea de undă a electronului, X 2tu h/p, unde o este impulsul electronului din fasciculul incident. Schimbarea direcţiei electronului faţă de direcţia iniţială după trecerea lui prin fantă arată că electronul a primit un impuls de recul A o după direcţia transversală, astfel încât

P d

Înlocuind expresia lui X şi schimbând pe ci cu A q, obţinem din nou relaţia lui Heisenberg. Efectuând un mare număr de astfel de experimente mintale cu acelaşi rezultat, este inevitabilă concluzia că avem de-a face cu o limitare principială impusă de natură noţiunilor de coordonată şi impuls ale unei particule. O astfel de limitare nu exista în fizica clasică; din cauza valorii mici a constantei h, limitarea nu se manifestă atunci când se descriu corpuri mari.

Relaţia de incertitudine este un caz particular şi o expresie concretă a principiului general al complementarităţii, formulat de Niels Bohr în 1927 (vezi p. 58). Nedeterminarea principială a unor mărimi este consecinţa utilizării noţiunilor clasice pentru descrierea obiectelor neclasice; natura cuantică a microobiectelor este complementară descrierii lor clasice. Dar descrierea clasică a rezultatelor observaţiilor este inevitabilă. Toate, aparatele de măsură sunt în mod obligatoriu clasice, iar, la măsurare, nedeterminările sunt inaccepr tabile, aparatul trebuind să dea o valoarea numerică determinată a mărimii măsurate. Vom examina particularităţile observării obiectelor cuantice ceva mai departe.

Semnificâţia fizică a juneţi ci de undă

Să ne întoarcem la experienţa noastră cu fanta practicată într-un ecran. Să aşezăm, departe în spatele ecranului, o placă fotografică. Căzând pe placă, electronul va provoca înnegrirea unei granule de emulsie, după care, coordonata lui va putea fi determinată cu o percizie mergând până la dimensiunea granulei respective. După difracţia prin fantă, fasciculul de electroni va imprima pe placă un cerc cu raza R IX/d. Să micşorăm acum intensitatea fasciculului de electroni în aşa măsură, încât fiecare electron să cadă pe placa fotografică, să zicem, o dată pe minut. După o aşteptare îndelungată, se va obţine acelaşi tablou ca şi în cazul fasciculului intens. Dar electronii au atins placa unul câte unul, ceea ce înseamnă că unui singur electron îi putem atribui probabilitatea de a cădea într-un loc sau altul. Pentru un singur electron, această probabilitate de distribuţie în apropierea plăcii este de aşa natură, încât este maximă în centru, scade uşor de la centru către raza R, după care, dincolo de limitele petei de difracţie, începe să scadă brusc.

Să urmărim modul în care se realizează relaţia de incertitudine în experimentul nostru. Pe ecran cad electronii cu un impuls foarte precis determinat – impulsul lor transversal este egal cu zero; ca urmare, coordonata transversală este complet nedeterminată. Acum putem spune mai precis că înainte de trecerea prin fantă, probabilitatea de a găsi electronul în orice punct al ecranului este aceeaşi i După trecerea prin fantă, impulsul transversal devine nedeterminat, în timp ce coordonata transversală devine ceva mai determinată. Probabilitatea de a găsi un electron pe placa fotografică în afara petei de difracţie este mică, iar nedeterminarea coordonatei transversale este Aq-R.

Analiza unor experienţe de acest fel l-a dus pe Max Bora (1926) la ideea că funcţia de undă descrie probabilitatea uneia sau alteia dintre valorile coordonatei sau impulsului electronului, în funcţie de tipul experimentului. Probabilitatea se determină prin pătratul funcţiei de undă. Cum a ajuns el la această concluzie?

Să ne amintim că teoria fenomenelor ondulatorii ale luminii – interferenţa şi difracţia – a fost elaborată cu mult înaintea ecuaţiilor lui Maxwell, înainte de a se fi descoperit natura electromagnetică a luminii. Se presupunea numai că sursa de lumină emite unde de natură necunoscută, iar intensitatea luminii este considerată proporţională cu pătratul mărimii care oscilează. În reprezentarea actuală, mărimile care oscilează în spaţiu şi timp

sunt câmpurile magnetice şi cele electrice, iar intensitatea luminii este proporţională cu pătratul acestor mărimi. Dar aproape toate fenomenele ondulatorii nu depind de natura luminii.

Era deci firesc să se considere că şi pentru undele legate de particule există un proces ondulatoriu şi prin urmare că intensitatea – în cazul nostru probabilitatea – este proporţională cu pătratul funcţiei de undă.

La început se presupunea că există un anumit câmp fizic real, asemănător câmpului electromagnetic din unda luminoasă, care ar fi responsabil de proprietăţile ondulatorii ale particulei.

Dar în acest caz un singur electron ar fi produs printr-un singur act toată figura de difracţie, în timp ce, de fapt, el provoacă înnegrirea doar a unei singure granule. Acesta este numai unul dintre argumente; această concepţie asupra naturii procesului ondulatoriu a trebuit respinsă din mai multe cauze. Aşadar, funcţia de undă a particulei nu este un câmp fizic oarecare, ci numai o formă de scriere a variantelor posibile pentru rezultatele uneia sau alteia dintre observările succesive.

Funcţia de undă constituie descrierea de maximă compier titudine posibilă a stării unei particule. Ea, înlocuieşte starea clasică, dată de coordonate şi viteze.

Funcţia de undă care descrie starea câmpului electromagnetic are aceeaşi natură; ea nu este un câmp electromagnetic sau vreun alt câmp fizic, ci determină numai posibilitatea uneia sau alteia dintre valorile câmpului în fiecare punct.

Sfârşitul acestui capitol este consacrat aplicării mecanicii cuantice la câmp.

Este oare încălcata cauzalitatea?

Predicţiunile mecanicii cuantice nu oferă un răspuns univoc, ci numai prob abilitat ea. Unuia sau altuia dintre rezultate. Oricât de precis i-am determina starea înainte de ajungerea ei pe ecran, este imposibil să se prevadă în care punct al plăcii fotografice va cădea electronul. Se poate indica numai distribuţia probabilităţii de a-l găsi într-un punct sau altul.

Această neunivocitate nu înseamnă oare încălcarea cauzalităţii? Fizica clasică nu s-a confruntat cu o astfel de nedeterminare. Succesele mecanicii cereşti din secolele al XVII-lea şi al XVIII-lea au insuflat o încredere profundă în posibilitatea predicţiunilor univoce. Pierre Laplace (1749-1827) a exprimat

cu următoarele cuvinte mândria produsă de posibilităţile nelimitate ale ştiinţei: „Daţi-mi coordonatele şi vitezele tuturor particulelor, iar eu vă voi prevedea viitorul Universului!” Apariţia electrodinamicii n-a zdruncinat această convingere. Deşi în electrodinamică. Starea iniţială constă nu numai din coordonatele şi vitezele particulelor, ci şi din distribuţia câmpurilor, predicţiunile ei sunt univoce.

Predicţiunile fizicii statistice clasice au un caracter probabilist. Ele răspund, de exemplu, la întrebarea care este probabilitatea de a găsi o particulă de gaz încălzit având o energie sau alta, sau, cu alte cuvinte, oferă predicţiunea distribuţiei particulelor după energie. Dar aici există o deosebire importantă faţă de mecanica cuantică. În fizica statistică, probabilitatea rezultă din complexitatea sistemului, din determinarea aproximativă a stării iniţiale. În afară de aceasta, sistemul mecanic trebuie să posede o proprietate importantă el trebuie să fie ergodic. Aceasta înseamnă că o mică inexactitate a datelor iniţiale duce, după un timp scurt, la împrăştierea sistemului în toate stările sale posibile. Dar, în spatele tuturor acestora, se află univocitatea legilor mecanicii.

În mecanica cuantică, nedeterminarea este principială, ea decurgând din complementaritatea proprietăţilor cuantice şi a descrierii clasice. Şi, în afară de aceasta, ea se manifestă chiar la cele mai simple obiecte, la observările individuale efectuate asupra unei singure particule.

Marea descoperire a mecanicii cuantice o constituie caracterul probabilist al legilor Universului. La unele întrebări nu se poate răspunde univoc.

După cum ştim, este imposibil „să se dea coordonatele şi vitezele tuturor particulelor”. Ceea ce se poate da, în cel mai bun caz, este funcţia de undă a stării iniţiale. Mecanica cuantică permite să se obţină univoc funcţia de undă în orice moment ulterior. Exclamaţia lui, Laplace poate fi înlocuită printr-o alta, la fel de orgolioasă: „, Daţi-mi funeţia de undă a tuturor particulelor şi eu vă voi prevedea viitorul”.

De altfel, imposibilitatea de a prevedea viitorul în viaţa practică nu este legată de nedeterminarea cuantică. Avem de-a face cu sisteme foarte complicate, în care determinarea funcţiei de undă iniţiale este la fel de imposibilă ca şi coordo? natele şi vitezele.

Niels Bohr a remarcat că încercarea de a determina fune ţia de undă a

unui obiect însufleţit duce imediat la moartea a cestuia. Iar viitorul nostru depinde de nişte sisteme atât de complicate şi nedeterminate cum sunt oamenii. Dar să ne întoarcem la legile fizicii.

Aşa dar, nu putem urmări traiectoriile particulelor indu vidualeg cauzalitatea, în accepţia lui Laplace, este încălcată» dar în accepţia ei mai exactă este respectată. Dintr-o stare iniţială cu o determinare maximă decurge în mod univoc singura stare finală posibilă. Numai sensul cuvântului „stare" s-a schimbat. Situaţia trebuie luată ca atare: noţiunea de „stare" în sensul atribuit de fizica clasică este principial imposibil de realizat.

Se poate modifica starea unei particule farà a o atinge!

Imposibilitatea de a prevedea în mod univoc rezultatul unui experiment constituia un fapt atât de neobişnuit, încât a trezit multe obiecţii. Descrierea oferită de mecanica cuantică este oare completă, sau e nevoie să se construiască o teorie mai exactă, în care totul să fie univoc? Nu trebuie oare modificată interpretarea funcţiei de undă?

În 1936, Einstein scria: „Această părere este logică şi necontradictorie, dar îmi contrazice atât de categoric instinct tul ştiinţific, încât nu pot renunţa la căutarea unei înţelegeri complete".

Disputa dintre Bohr şi Einstein, care a durat ani de zile, a dus la aprofundarea şi precizarea teoriei măsurării din fizica cuantică. Dezvoltarea ulterioară a ştiinţei a confirmat până acum poziţia lui Bohr cu privire la completitudinea descrierii realităţii de către mecanica cuantică.

Pentru a înţelege esenţa dificultăţilor, trebuie să lăimn rim particularităţile observaţiilor efectuate de mecanica cuantică...

În prinul rând, proprietăţile obiectelor microscopice nu se pot studia făcându-se abstracţie de procedeul observării.

În funcţie de aceasta din urmă, electronul se manifestă fie ca undă, fie ca particulă, fie ca ceva intermediar. Desigur că există şi proprietăţi independente de procedeul observării, cum ar fi masa, sarcina, spinul particulei, sarcina barionică, momentul magnetic... Dar, ori de câte ori dorim să măsurăm mărimi care nu au o valoare determinată, rezultatul depinde de procedeul observării. V.A. Fok a denumit această proprietate a obiectelor cuantice „relativitatea faţă de mijloacele de observare". Fizica precuantică opera numai cu relativitatea legată de mişcare – relativitatea vitezei, sau a formei: din cauza contracţiei Lorentz, o roată care se învârteşte rapid are

aspectul unei elipse. În teoria cuantică, rezultatul depinde de ce anume şi cum anume se măsoară în unul şi acelaşi sistem de coordonate.

Aşa cum am amintit mai înainte, cauzele acestei situaţii nu pot fi înlăturate – suntem deci obligaţi să descriem obiectele cuantice în limbaj clasic. Dar, după cum teoria relativităţii nu diminuează obiectivitatea fenomenelor naturii, ci o pune în evidenţă, la rândul ei, relativitatea faţă de mijloacele de observare din mecanica cuantică nu îngreunează câtuşi de puţin determinarea proprietăţilor obiective ale microobiectelor. Istoria dezvoltării Universului nu devine mai puţin obiectivă prin faptul că o descriem în limbajul nostru omenesc. Limbajul fizicii clasice, pe care îl vorbesc mijloacele noastre de observare şi în care ne formulăm ideile, permite caracterizarea deplină a proprietăţilor microobiectelor. Inevitabil, dar fără pierderi, ne folosim de nişte insr trumente subiective pentru descrierea lucrurilor obiective. Fizicianul german Karl Weiszäcker, care a avut multe realizări în teoria nucleului, a spus: „Natura a existat înaintea omului, dar omul a existat înaintea ştiinţelor naturii”. Totodată, folosirea prea frecventă a cuvântului „observator” la descrierea măsurărilor din mecanica cuantică produce un sentiment neplăcut. Mi se pare că putem să scăpăm uşor de el – putem renunţa la cuvântul „observator” şi sub denumirea de „observare”, ’ putem înţelege şi procedeul de clarific care ai unei întrebări formulate în limbaj clasic. Este ca şi când am recunoaşte forma obiectului, studiindu-i proiecţiile, adică secţionându-l în diverse planuri.

Să ne întoarcem la aparatul nostru de măsură – la ecranul cu fantă. După trecerea prin fantă, impulsul transversal devine nedeterminat. Acest fapt duce la apariţia petei de difracţie. Ce s-ar obţine însă dacă am preciza impulsul de recul al electronului? În acest scop, ar trebui să construim un dispozitiv, în care ecranul, împreună cu fanta, să se poată deplasa liber pe direcţia transversală. Măsurând modificarea impulsului ecranului, cu ajutorul legii conservării impulsului, vom găsi şi impulsul transversal al electronului. Dacă impulsul transversal este foarte precis determinat, atunci poziţia ecranului va fi complet nedeterminată, iar figura de difracţie va dispărea – probabilitatea de înnegrire va fi aceeaşi pentru orice granulă de pe placa fotografică. Electronul va fi descris de aceeaşi undă plană ca şi până la ecran, însă cu o nouă valoare determinată a impulsului.

Acum aţi văzut operând principiul relativităţii faţă de mijloacele de

observare! Modul în care se înnegreşte placa fotografică depinde de observarea mişcării ecranului. Să presupunem că ecranul şi placa fotografică se află în oraşe diferite. S-ar părea că măsurând într-un oraş, aş putea să influenţez rezultatul măsurătorii din celălalt oraş... Asta nu aduce oare a misticism? Oare fenomenul nu ar putea fi folosit pentru o legătură extrasenzorială? Întrebarea este atât de importantă, încât trebuie să ne pună pe gânduri. Iar cel mai bun mijloc de reflecţie este să obţinem acelaşi lucru prin alte mijloace. I. Manin spune în cartea pe care am amintit-o: „A gândi, înseamnă a calcula, emoţionându-te”.

Să întreprindem deci încă un experiment mental. Să mai practicăm încă o fantă la o distanţă mare de prima, iar apoi să privim ce se petrece atunci când pe ecran ajunge un fascicul de lumină. Pe al doilea ecran, vom vedea o figură de interferenţă bine cunoscută în optică. În afară de cele două pete luminoase, în dreptul fiecărei fante se obţine un sistem de curbe luminoase şi întunecate, care umplu suprafaţa dintre pete. Locurile luminoase vor fi acelea în care’ undele venite de la fiecare dintre fante se adună, iar cele întunecate, acelea în care undele se scad. Acesta este fenomenul de interferenţă. Dacă. Obturăm una dintre fante, tot acest tablou minunat dispare.

Se înţelege că la fel vor sta lucrurile şi cu electronii. Oricât de rar ar cădea ei, pe placa fotografică se va obţine înz cele din urmă tot figura de interferenţă. Dacă vom acoperi cu un capac una dintre fante, pe placa fotografică nu se va mai produce interferenţa, ci va apărea numai pata de difracţie.

Aici se manifestă încă o particularitate importantă a mecanicii cuantice: funcţia de undă se compune din funcţiile de undă ale fenomenelor care se exclud reciproc. Această proprietate se numeşte „principiul superpoziţiei”. Să acoperim cu un capac una dintre fante – atunci electronul trece în mod obligatoriu prin cealaltă, iar capacul nu-i influenţează funcţia de undă. Să notăm această funcţie cu cpi; Să mutăm capacul pe cealaltă fantă şi să notăm noua funcţie cu cE2. Dacă sunt deschise ambele fante, funcţia de undă cE este egală cu suma lui 01 şi cD2: O C1 cï2. Probabilitatea de a găsi electronul în vreun punct al plăcii fotografice va fi

P /o/» /ox D2/2.

Dacă şi ®2 sunt egale în vreun punct, obţinem probabilitatea P 4/Cy2

4PX, iar dacă 01 şi 03 sunt opuse, P 0 şi electronii nu cad în acele locuri. Dacă fantele vor fi deschise alternativ, se vor compune nu funcţiile de undă, ci probabilităţile. Probabilitatea corespunzătoare va fi atunci:

P’ /®il8 / 02/2 Pi P2.

Interferenţa dispare, întrucât mărimile Px şi P2 sunt pozitive şi nu se pot anula reciproc. Aceste formule simple lămuresc lucruri pe care le-am obţinut şi fără folosirea lor.

Observăm că orice încercare de a preciza traiectoria, selecţionând cazurile în care electronul trece printr-o singură fantă, distruge interferenţa. Şi în acest caz, observaţia efectuată la Moscova pare că ar influenţa rezultatele experienţelor de la Paris.

Mai există un fapt, la prima privire nu mai puţin straniu: după fiecare măsurare, funcţia de undă se schimbă printr-un salt. Într-adevăr, după măsurarea impulsului de recul, a apărut, printr-un salt, unda cu noul impuls. Până la căderea lui pe placa fotografică, în această stare, electronul putea fi găsit cu aceeaşi probabilitate în orice loc; după înnegrirea granulei, nedeţerminarea poziţiei lui s-a schimbat printr-un salt într-un interval de timp neglijabil, fiind dată acum de dimensiunile granulei. Acest fenomen are o denumire frumoasă: „reducţia funcţiei de undă” sau „reducţia pachetului de undă”.

Tocmai posibilitatea stranie de a modifica funcţia de undă a particulei fără a acţiona însă asupra ei a constituit principalul argument fizic din celebrul articol al lui Einstein, Podolsky şi Rosen „Poate fi considerată completă descrierea realităţii fizice de către mecanica cuantică?” (1935). Ei scriau: „întrucât aceste sisteme nu mai interacţionează, atunci, oricare ar fi operaţiile din primul sistem, în cel de-al doilea nu se pot obţine niciun fel de schimbări reale”.

Să urmărim fenomenul pe un exemplu extrem de simplu, în care el va deveni banal. Să admitem că ştim impulsurile a două particule înainte de ciocnirea lor, şi că, după ciocnire, una dintre ele trece printr-un laborator din Dubna, în timp cé a doua, prin instalaţiile de măsură de la Saclay, de lângă Paris. Dacă fizicianul din Dubna obţine pentru impuls o valoare determinată, cu ajutorul legii conservării impulsului, el poate calcula impulsul particulei pariziene. Prin urmare, funcţia de undă a acestei particule a fost determinată ca rezultat al măsurării la Dubna – ea corespunde unui impuls determinat.

Dar acest fapt nu este straniu, ci reprezintă doar un caz obişnuit de schimbare a probabilităţii unei predicţiuni o dată cu fiecare nouă informaţie. Se pune întrebarea: care este probabilitatea ca parizianul să găsească o valoare sau alta a impulsului, cu condiţia ca la Dubna să fie găsit un impuls determinat? Aceasta înseamnă că trebuie să se ia întreaga mulţime de măsurători ale impulsului la aceste două laboratoare şi să se aleagă din această mulţime acele cazuri în care la Dubna s-a obţinut impulsul respectiv. După o astfel de alegere, toate măsurările pariziene vor avea şi ele un impuls determinat. În esenţă, este vorba pur şi simplu de confirmarea legii conservării impulsului. Pot exista şi situaţii mult mai k complicate, dar de fiecare dată, influenţa măsurărilor dintr-un subsistem asupra măsurărilor din alt subsistem trebuie înţeleasă tocmai în sensul selectării cazurilor corespunzătoare unei condiţii bine, determinate. Probabilitatea unui eveniment care îndeplineşte o anumită condiţie se numeşte „probabilitate condiţionată”.

O condiţie suplimentară ne obligă să alegem o altă succesiune a evenimentelor. Desigur că în acest caz posibilită ţile se schimbă şi, prin urmare, se schimbă şi funcţia de undă.

Care este probabilitatea unui accident de automobil, sau, cu alte cuvinte, câte automobile suferă un accident? Răspunsul depinde de multe condiţii. Astfel, predicţiunea se modifică în salturi, dacă se adaugă specificarea „în condiţiile defectării frânelor” sau „cu un şofer experimentat”. Care este probabilitatea de a emite o judecată incorectă în mecanica cuantică? Această probabilitate creşte brusc, dacă adăugăm condiţia „fără să reflectăm”. Iată o afirmaţie destul de răspândită: „oricât s-ar îndepărta două subsisteme, ele rămân strâns legate”. Acesta este un nonsens fizic împotriva căruia s-au ridicat pe bună dreptate Einstein, Podolsky şi Rosen. Iar explicaţia este următoarea: subsistemele aflate la distanţă mare nu sunt desigur în niciun fel legate între3ele, ci sunt independente. Dar probabilitatea condiţionată pentru unul dintre subsisteme, depinde, desigur, de starea aleasă pentru cel de-al doilea subsistem. Iar acest fenomen, după cum vedem, nu este specific cuantic, ci se întâlneşte şi în fizica clasică şi chiar în viaţa de zi cu zi. Predicţiunea se schimbă în salturi la modificarea condiţiilor de selectare a evenimentelor.

„Se poate îndrepta, dar va fi mai rău…” (din discuţia cu un croitor)

Trebuie căutată oare o altă interpretare a mecanicii cuantice? Mi se pare că lucrul cel mai important – şi anume ca-e racterul probabilist al predicţiunilor – se va menţine oricare vor fi schimbările teoriei. Mecanica cuantică, împreună cu teoria măsurătorilor constituie o teorie logic încheiată şi deosebit de frumoasă. Toate încercările de a o „perfecţiona s-au dovedit până acum inconsistente şi, în cel mai bun caz, s-au limitat a răspunde la întrebarea: cum se pot obţine rezultatele cunoscute ale mecanicii cuantice într-un mod mai puţin frumos şi mai complicat? Vom vedea imediat că singura încercare mai mult sau mai puţin consecventă de „îndreptare contrazice experimentul.

În perioada controverselor furtunoase despre completă tudinea mecanicii cuantice, a apărut următoarea ideel nu cumva nedeterminarea din comportarea electronului s-ar putea explica prin faptul că. Starea lui depinde nu numai de impuls, de coordonată şi de proiecţia spinului, ci şi de anumiţi

parametri interni ascunşi? Ca şi în fizica statistică, nedeterminarea rezultatului ar apărea doar din cauza caracterului arbitrar al valorii acestor parametri. În principiu, dacă parametrii ascunşi ar putea fi determinaţi, predicţiunile ar deveni şi ele determinate, la fel ca în mecanica clasică.

Desigur, acest mijloc a salva determinismul este foarte stìngaci şi incomod, căci preţul este costisitor – introducerea unor parametri suplimentari. Or, la început se reuşise numai reconfirmarea relaţiilor deja cunoscute din mecanica cuantică. Un timp se părea că o asemenea cale nu se deosebeşte de loc prin consecinţele sale de mecanica cuantică. În cazul măsurării unice, prin jocul parametrilor ascunşi s-a reuşit să se obţină coincidenţa cu mecanica cuantică. Totuşi, la repetarea măsurătorilor, această coincidenţă nu mai este întotdeauna posibilă.

Prima măsurare limitează atât de mult valorile posibile ale parametrilor ascunşi, încât la cea de-a doua măsurare, libertatea lor este insuficientă

pentru conformitatea cu mecanica cuantică. Acest fapt a fost prezentat cel mai convingător de John Bell în 1966. Pentru a-l demonstra, i-a fost suficient să presupună că valorile parametrilor ascunşi din subsistemele separate sunt independente. Dar aceşti parametri au fost introduşi tocmai pentru a evita „dependenţa” probabilistă a unor obiecte pe care mecanica cuantică le consideră separate. Cu alte cuvinte, afirmaţiile lui Bell nu provoacă îndoieli.

Astfel, s-au indicat experimentele prin care se poate vedea deosebirea dintre predicţiunile mecanicii cuantice şi teoria parametrilor ascunşi. În 1972, Stewart Friedman şi John Clauser au efectuat un atare experiment. Ei au observat lumina emisă de atomii de calciu excitaţi. În condiţiile experimentului lor, calciul emitea succesiv două cuante de lumină vizibilă, care se puteau separa cu ajutorul unui simplu filtru de lumină. După trecerea printr-un polarimetru, care selecta o direcţie de polarizare determinată, fiecare cuantă cădea în contorul ei. S-a urmărit numărul de coincidenţe ale contoarelor ca funcţie de unghiul dintre direcţiile de polarizare ale celor două cuante. Teoria parametrilor ascunşi prevede scăderi bruşte ale curbei, care reprezintă această dependenţă. Experimentul nu numai că nu a confirmat scăderile, ci a demonstrat că această curbă experimentală coincide cu o precizie surprinzătoare cu cea teoretică, obţinută din mecanica cuantică.

Deci nu există niciun fel de parametri ascunşi. Mecanica cuantică a avut încă odată dreptate. Microobiectele n-au un determinism de tip Laplace.

Oricât ar părea de uimitor, parapsihologii au receptat acest rezultat ca pe o posibilă fundamentare a fenomenelor extrasenzoriale. Şi trebuie să spun că eu am aflat pentru prima dată despre experienţele lui Friedman şi Clauser de la un parapsiholog american. Majoritatea fizicienilor, inclusiv eu însumi, eram convinşi de corectitudinea mecanicii cuantice şi eram atât de sceptici în privinţa ideii parametrilor ascunşi, încât încetaserăm să mai urmărim evenimentele din acest domeniu.

Fraza imprudentă „două subsisteme rămân strâns legate şi după depărtarea lor la mare distanţă unul de celălalt”, s-a dovedit nu chiar inofensivă. Dacă nu se ţine seama de natura’ probabilistă a funcţiei de undă, se poate crede că legătura dintre subsisteme este fizică. De fapt, însă legătura nu este materială, ci informaţională, în sensul probabilităţii condiţionate despre care a şi fost vorba mai înainte. Sistemele fizice legate strâns între ele la distanţe mari reprezintă o cale directă pentru explicarea multor fenomene

extraordinare. Experimentul lui Friedman şi Clauser n-a făcut decât să confirme mecanica cuantică, în care nu există niciun fel de încălcare a principiilor fizice. Cauzalitatea se respectă: cauza precede efectul; nu se poate produce o interacţiune fizică fără ca un câmp oarecare să se propage de la obiectul emiţător la cel receptor, iar viteza de propagare a acestui câmp este mai mică sau egală cu viteza luminii.

Iată încă un fapt fizic pe care unii parapsihologi încearcă să-l folosească şi care nu are nici el vreun fel de relaţie cu fenomenele extrasenzoriale. Din mecanica cuantică relativistă rezultă – şi faptul a fost dovedit experimental, că pe lângă particule mai există şi antiparticule: o dată cu electronul există şi pozitronul, o dată cu protonul, şi antiprotonul. Antiparticulele sunt tot nişte obiecte fizice, la fel ca şi partenerii lor mai răspândiţi şi, aşa după cum se şi consideră, ele se mişcă înainte în timp. Există totodată şi o consecinţă foarte interesantă, dar nu de natură fizică, ci de natură matematică, a înrudirii antiparticulelor cu particulele: antiparticula poate fi privită ca o particulă care se mişcă în spre trecut. Convenţionalitatea acestei afirmaţii este evidentă şi din faptul că putem cu acelaşi succes mişca îndărăt în timp şi particulele.

Dacă acest fapt matematic este interpretat ca un fenomen fizic, atunci se poate ajunge la o absurditate fizică: de vreme ce pozitronul este un electron venit la noi din viitor, nu se poate afla oare cu ajutorul lui, ce va fi cu noi în viitor? Nu s-ar putea astfel fundamenta ştiinţific prezicerile reuşite ale ghicitoarelor? Sau, întrucât pozitronul generat alături este de fapt un electron venit nu numai din viitor, ci şi de la mare distanţă, nu se pot vedea astfel oare obiectele îndepărtate?

Trebuie să-i dezamăgesc pe partizanii miracolelor: mecanica cuantică relativistă, ca şi cea nerelativistă, de altfel, nu oferă niciun fel de baze ştiinţifice pentru fenomenele extrasenzoriale. Şi în această teorie, viitorul este urmarea trecutului şi este determinat, în conformitate cu cauzalitatea, de evenimentele care s-au petrecut înaintea momentului predicţiunii. Vederea la distanţă este posibilă numai cu ajutorul unui aparat analog televizorului: trebuie să existe o sursă a vreunei radiaţii care să transmită informaţia spre receptor, iar radiaţia se propagă cu o viteză nu mai mare decât viteza luminii.

La fel ca în fizica clasică, în fizica cuantică nu se relevă niciun fel de fapte care să ajute la înţelegerea sau fundamentarea fenomenelor extrasenzoriale. Dacă aceste fenomene există, fundamentarea lor trebuie

căutată în afara fizicii.

Calcule fără calcule

Dacă matematica este arta de a evita calculele, fizica teoretică este arta de a te descurca fără matematică.

Din conversaţii

Cum lucrează fizicienii teoreticieni’ân primul stadiu, respectiv la începutul cercetării, atunci când se face o analiză calitativă a unei probleme? După cum vom vedea, în această etapă se obţin fără niciun fel de calcule relaţiile aproximative dintre mărimile care intră în problemă, se clarifică tabloul fizic al evenimentelor şi se conturează proiectul soluţiei aşteptate. Următorul stadiu, care este obţinerea relaţiilor cantitative cu ajutorul aparatului matematic al teoriei, se bazează în întregime pe primul stadiu. Fără să ai un proiect ipotetic al soluţiei, fără o analiză calitativă, nu este posibil să se treacă la căutarea rezultatului exact. Într-adevăr, se reuşeşte numai demonstrarea acelor afirmaţii care au fost dinainte intuite. Această regulă nu admite aproape nicio excepţie. Henri Poincaré scria: „Intuiţia precede demonstraţia. Trebuie oare să mai menţionez că tocmai în acest fel s-au făcut toate descoperirile importante?”

Unul dintre elementele principale ale analizei calitative îl constituie rezolvarea problemei pe modele mai simple, din care se înlătură tot ceea ce este neesenţial. Este incomparabil mai simplu să complici problema decât să rezolui dintr-o dată o problema complicată.

Estimări dimensionate

În unele cazuri, simpla analiză dimensională clarifică multe lucruri. Este vorba de aprecierea dimensională a mărimilor care intră în problema dată şi

de relaţiile dintre mărimi. Să demonstrăm, de exemplu, teorema lui Pitagora, prin raţionamente dimensionale. Din analiza dimensională rezultă că aria unui triunghi dreptunghi poate fi scrisă ca pătratul ipotenuzei, c2, înmulţit cu o funcţie oarecare de unghi f (a) (ca o precizare, să-l alegem pe a ca unghiul dintre ipotenuza e şi cateta mai mare). Acelaşi lucru este valabil şi pentru ariile celor două triunghiuri dreptunghice asemenea, ale căror ipotenuze sunt catetele *a* şi respectiv *b* ale triunghiului iniţial, în timp ce înălţimea din unghiul drept este cateta lor comună. Atunci:

c2f (a) a2f (a) b2f (a)

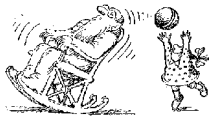
Simplificând cu f (oc), obţinem teorema lui Pitagora.

Să estimăm perioada oscilaţiilor unui pendul. Pentru a simplifica, să presupunem că o greutate cu masa în este atârnată de o tijă uşoară, a cărei masă poate fi neglijată. Mai înainte de toate, să clarificăm ce mărimi pot intra în expresia perioadei oscilaţiilor. Întrucât forţa care deplasează pendulul spre poziţia de echilibru este forţa de greutate, perioada poate depinde de acceleraţia gravitaţională g şi de masa pendulului, m. În afară de aceasta, în formulă mai poate intra, de asemenea, lungimea pendulului, 1. Desigur că astfel de mărimi cum ar fi temperatura şi vâscozitatea aerului sunt neesenţiale dacă neglijăm amortizarea pendulului. Dacă nu luăm în considerare acceleraţia lui Coriolis, care apare din cauza mişcării punctului de suspensie al pendulului o dată cu Pământul, atunci în problemă nu’ va apare nici viteza de rotaţie a planetei noastre. După cum se vede, pentru a simplifica o problemă, trebuie să ştii ce anume se poate neglija! Din cele trei mărimi rămase, g, în şi l, se poate alcătui numai o singură combinaţie care să aibă dimensiunea timpului. Această mărime este ///g, deci perioada T *a* Z//g.

Masa în nu a intrat în problemă. Constanta adimensională *a* nu poate fi găsită din estimări dimensionale; despre ea se poate spune că nu este nici prea mare, nici prea mică, fiind de ordinul unităţii. Într-adevăr, această mărime trebuie găsită din rezolvarea ecuaţiei de mişcare a pendulului, ecuaţie pe care noi n-am scris-o, iar numerele care apar din rezolvarea ecuaţiilor întâlnite în fizică, au, de regulă, ordinul de mărime al unităţii. Rezolvând exact, obţinem pentru *a* valoarea 2tu. În acest fel, fără calcule, folosindu-ne numai de analiza dimensională, am dedus că perioada de oscilaţie a pendulului nu depinde de masă şi că este proporţională cu rădăcina pătrată a lungimii. Mai mult, am găsit totodată valoarea aproximativă a perioadei de

oscilaţie.

Oscilatorul generalizat în toate ramurile fizicii se întâlnesc probleme legate de oscilaţia în jurul poziţiei de echilibru. Indiferent de structura sa, un astfel de sistem se numeşte „oscilator” – el oscilează în jurul poziţiei sale de echilibru. Cel mai simplu oscilator este o greutate legată de un resort, sau un pendul; altul, mai complicat, este coarda sonoră întinsă, care poate avea mai multe tipuri de oscilaţii: cu ventrul la mijloc (tonul fundamental), cu un nod, cu două noduri ş.a.m.d. (tonuri armonice superioare). Coarda constituie un grup de oscilatori de diverse frecvenţe. Un exemplu similar este coloana de aer dintr-un tub de orgă. Aerul din tub poate fi făcut să vibreze cu frecvenţa cea mai scăzută (tonul fundamental) sau cu o frecvenţă mai mare, când în câteva puncte ale coloanei particulele de aer rămân nemişcate, constituind analogul nodurilor din oscilaţiile corzii.



Energia sistemului oscilant constă din doi termeni, fapt comun tuturor oscilaţiilor. Un termen este proporţional cu pătratul deplasării oscilatorului faţă de poziţia sa de echilibru şi reprezintă energia potenţială. Dacă o este mărimea abaterii faţă de poziţia de echilibru, atunci energia potenţială este egală cu:

U yq2/2

Coeficientul y se numeşte „constanta elastică” a oscilatorului. Cel de-al doilea termen, energia cinetică, poate fi scris sub forma T ßq2/2, unde o este viteza de variaţie a lui o în raport cu timpul. Mărimea ß se poate denumi „masa oscilatorului”. Dacă deplasăm oscilatorul cu mărimea q0, faţă de poziţia de echilibru, atunci rezerva de energie potenţială va fi

— U yqf/2.

Întrucât oscilatorul tinde să revină la poziţia de echilibru, această energie potenţială va începe să se transforme treptat în energie cinetică, iar atunci când oscilatorul va trece prin poziţia de echilibru, întreaga energic potenţială se va fi transformat în energie cinetică. În acel moment, viteza

oscilatorului, q’, este maximă. În virtutea inerţiei, oscilatorul va depăşi poziţia de echilibru, iar în punctul q0 toată energia cinetică va trece în energie potenţială, după care va începe mişcarea spre direcţia de echilibru. Oricum s-ar realiza în mod concret oscilatorul, pulsaţia sa, co (co 2-tt/T) se exprimă în modul următor cu ajutorul constantei elastice y şi masa ß: o /y/ß sau T 2tu/ß/y.

În cazul pendulului, rolul constantei elastice îl joacă mprimea g, iar cel al „masei”, lungimea l. În acest fel pot fi examinaţi toţi oscilatorii, independent de natura lor fizică.

Iată încă un oscilator, complet diferit de cei dinainte, dar căruia i se pot aplica aceleaşi formule. Capetele unei bobine alcătuite dintr-o sârmă cu conductibilitate bună se leagă la bornele unui condensator. Energia acestui sistem constă din doi termeni: energia câmpului magnetic din bobină şi energia câmpului electric, proporţională cu pătratul sarcinii Q, care, în momentul respectiv, se află pe armăturile condensatorului. Dacă sarcina Q este considerată coordonata oscilatorului, atunci energia condensatorului va juca rolul energiei potenţiale. Energia câmpului magnetic al bobinei este proporţională cu pătratul intensităţii curentului care trece în momentul respectiv prin bobină. Dar intensitatea curentului este egală cu viteza Q’ de variaţie a sarcinii condensatorului în raport cu timpul. Energia câmpului magnetic este proporţională deci cu Q’2 şi corespunde energiei cinetice. Un astfel de oscilator se numeşte „circuit electric oscilant”.

Dacă în bobină se introduce, apoi se scoate un magnet, în circuit vor lua naştere oscilaţii electromagnetice – energia magnetică va trece în energie electrică şi invers. Cu cât este mai mică rezistenţa firelor din bobină, cu atât oscilaţiile. Vor fi mai încet amortizate. Dacă bobina este alcătuită dintr-un supraconductor, în mod practic, oscilaţiile nu se vor mai amortiza.

Cum să intuieşti soluţia?

Uneori proprietăţile soluţiei se pot clarifica înainte de formularea teoriei, înainte de găsirea ecuaţiei care descrie fenomenul respectiv. Procedeul folosit în acest scop constituie un exemplu de analiză dimensională mai complexă decât în cazul oscilatorului.

Una dintre cele mai dificile probleme nerezolvate ale fizicii teoretice este legătura dintre fenomenele gravitaţionale şi cele electrodinamice.

Dacă o astfel de legătură există, atunci, ca rezultat al rezolvării unor

ecuaţii încă nededuse, se va obţine un număr adimensional care corelează între ele constanta gravitaţională G şi mărimile caracteristice ale electricităţii, cum ar fi viteza luminii e, sarcina electronului e şi masa lui, m. Dacă efectele cuantice joacă un rol esenţial, atunci poate fi introdusă şi constanta lui Planck, h, care, după cum am văzut, caracterizează salturile energiei oscilaţiilor electromagnetice.

Cunoscând dimensiunile mărimilor G, e, e, în şi h, nu e greu să ne convingem că din ele se pot obţine numai două combinaţii adimensionale independente:

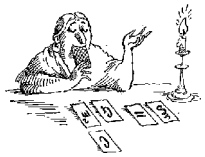
e2.

— He a – şi Ç

he Gm2

Prima formulă este bine cunoscută şi se numeşte „con stanta structurii fine”. Calculând valorile lor numerice obţir nem:

a 1/137; Ç 5 x 1044. Poate oare un* număr atât de mare, cum este să apară în urma rezolvării vreunor ecuaţii acceptabile? Numerele adimensionale care figurează în problemele fizice sunt de obicei de ordinul câtorva unităţi sau constituie fracţiuni ale lui unu. Din acest motiv, avem dreptul să ne aşteptăm ca mărimea respectivă să apară în problemă astfel încât rezultatul să fie apropiat de unu. Până acum am acţionat pe baza bunului simţ. Acum trebuie să facem însă un mic salt logic bazat pe intuiţie.



Este verosimil ca în teorie să intre logaritmul natural al lui Ç (lnÇ – 100) în combinaţia a înE – 1. În această combinaţie nu mai apar numere mari. Cunoaşterea unor asemenea relaţii înlesneşte găsirea soluţiei.

Corecţiile la electrodinamica în câmp intens

Această problemă este mai complicată, dar ne va oferi o oarecare imagine despre un procedeu important al fizicii contemporane, şi anume graficele lui Feynman. Metoda graficelor, sau a diagramelor a produs o

revoluţie în calculele teoretice. Esenţa metodei constă în reprezentarea fenomenelor sub forma unor desene care se descifrează la sfârşitul lucrării. Chiar şi fără descifrare, numai ca ilustrare a proceselor, aceste grafice clarifică multe lucruri. De exemplu, desenul de mai jos semnifică naşterea şi anihilarea unei perechi electron-pozitron cu ajutorul unui foton, cu condiţia ca prin linia punctată să înţelegem cuanta, iar prin liniile cu diferite săgeţi, electronul şi pozitronul.

Punctele de pe grafic reprezintă actul de interacţiune dintre cuantă şi electron. Fiecare act aduce în calcul factorul e, iar întregul grafic arată cum se modifică legea de propagare a câmpului electromagnetic din cauza generării temporare a perechii electron-pozitron.

Vidul reprezintă în sine un mediu complicat, în care în mod virtual – pentru un timp – se nasc perechi particulăantiparticulă. Afirmaţiile de mai sus vor deveni deosebit de clare după lectura capitolului următor. De aceea, nu există niciun fel de motive să se creadă că ecuaţiile lui Maxwell vor mai rămâne liniare oricât de intense ar deveni câmpurile. Să evaluăm ordinul de mărime al corecţiilor la aceste ecuaţii.

Corecţia la ecuaţiile lui Maxwell se evaluează cel mai bine urmărind modificarea unei mărimi adimensionale, constanta dielectrică, sub influenţa unui câmp electric, de exemplu.

Din ce cauză constanta dielectrică, de care depinde viteza de propagare a luminii în vid, se schimbă în prezenţa câmpului extern? Doar câmpul extern nu acţionează asupra luminii. Mecanismul este următorul: lumina generează temporar perechea electron-pozitron, iar particulele create interacţionează cu câmpul extern.

Procesul arată astfel:

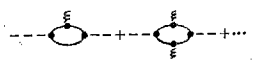


Figura de mai sus arată cum se modifică legea de propagare a fotonului în câmp extern.

Cuanta generează temporar o pereche, iar electronul şi pozitronul interacţionează cu câmpul extern (linia ondulată). Fiecare includere a

câmpului extern aduce un factor eE, unde E este intensitatea câmpului extern.

Acum nu este dificil de compus o combinaţie adimensională care să reprezinte corecţia la constanta dielectrică. Vom obţine mai întâi o combinaţie adimensională care conţine câmpul E. Întrucât eE are dimensiunile energiei, împărţită la lungime, iar mărimea h/me are dimensiunile lungimii, expresia ß eeh/me dimensiuni.

Me2

Privind desenul, nu-i dificil de dedus cum trebuie să arate corecţia la constanta dielectrică:

se Ef (eehi, he \m2c3J

unde este o funcţie arbitrară. Sarcina e intră în primul factor la pătrat, întrucât iniţial s-a generat o pereche, iar câmpul E intră în funcţie sub forma combinaţiei adimensionale ß. La câmpuri relativ slabe, funcţia poate fi dezvoltată în serie. Seria va începe cu termenul – E2, întrucât E este vector, iar în răspuns intră numai mărimea scalară, adică numai pătratul vectorului E.

Aşadar:

he Eg

Primul e factor, e2/he 1/137. Mărimea Ek m2c3/eh are dimensiunile intensităţii câmpului. Numeric, ea este egală cu IO6 V/cm.

Chiar dacă vom adăuga un câmp imens E – Eft, corecţia la ecuaţiile lui Maxwell va fi şi în acest caz – 1/137.

Teoria cuantică a particulelor şi câmpurilor

Descartes nu ne-a învăţat numai să ne îndoim, ci şi să rezolvam ecuaţii.

Am amintit până acum de câteva ori despre semnul h, constanta lui Planck, fără s-o folosim. Este timpul să intrăm în subiect şi să arătăm în formule şi nu în cuvinte cum ia parte această constantă la fenomenele cuantice. Concomitent, vom înţelege mai bine ce reprezintă în sine analiza calitativă şi modul cum operează ea. Vom obţine cele mai importante relaţii

ale mecanicii cuantice, folosindu-ne numai de considerente calitative, înlăturând dificultăţile neesenţiale. Vom găsi nivelele de energie ale atomului, ale corpului care se roteşte, ale oscilatorului şi vom examina consecinţele aplicării mecanicii cuantice la câmpul electromagnetic şi la alte câmpuri.

Cuantificarea atomului

Conform mecanicii cuantice, în atom, energia electronului poate avea numai valori discrete.

Valorile permise pentru energia electronului aflat în câmpul unui nucleu de sarcină Z (pentru hidrogen, Z 1) sunt date de expresia:

— MZ2e4 1 – h2 2n2

Diferenţa valorilor lui En pentru diverşi n, (n 1, 2, 3...) determină cu mare precizie frecvenţele posibile ale liniilor spectrale observate în experimente. Această formulă este rezultatul rezolvării exacte a ecuaţiei lui Schrödinger pentru funcţia de undă care descrie mişcarea electronului. Să vedem la ce rezultat ne duce analiza calitativă.

După cum ştim, conform ideii lui de Broglie, fiecare particulă – în cazul nostru, electronul – se caracterizează printr-un proces ondulatoriu cu lungimea de undă

2tu h înv unde V este viteza particulei. Valorile discrete ale energiei se obţin din condiţia ca pe distanţa pe care se mişcă electronul, să intre un număr întreg de unde. Dacă raza orbitei este r, electronul descrie o traiectorie de lungime 2tu r, iar celei de-a n-a stări a electronului îi corespunde condiţia 2? cr/X n, sau V hn/mr. De aici, nu este greu de obţinut energia cinetică în starea a n-a:

mv2 h2n2

n Ä...

Energia totală a electronului se obţine adunând energia lui cinetică şi potenţială în câmpul nucleului, aceasta din urmă fiind negativă şi egală cu – Ze2/r. Energia totală devine:

h2n2 Ze2

n M-a-Distanţa r caracterizează acea zonă a distanţei la care se găseşte cu predilecţie electronul; ea se poate evalua din condiţia ca energia totală să fie minimă. Bineînţeles, energia respectivă se obţine la o rază r, pentru care primul termen este aproximativ egal cu cel de-al doilea. Într-adevăr, pentru valori mici ale lui r, când primul termen este mai mare decât cel de-al doilea, energia se micşorează la creşterea lui r, iar pentru valori mari ale lui r, când cel de-al doilea termen este mult mai mare decât primul, este convenabil să-l micşorăm pe r. Un calcul exact dă pentru minimul energiei conh2n2 Ze2

ditia 2T V. În acest fel obţinem, de unde mr2 r h2n2 mze*

Pentru n 1, această expresie reprezintă o estimare corectă a razei atomului în starea cea mai joasă. Introducimi valoarea lui r în expresia lui En (r), obţinem:

m Z2 e4 1

Ü.

H2 2n2

adică exact expresia pe care am prezentat-o la început.

În realitate, electronul se poate găsi, cu diverse probabilităţi, la orice distanţă de nucleu. Simplificarea noastră constă în presupunerea că distanţa este determinată, egală cu r şi că se poate găsi din condiţia de minimum a energiei. Desigur că am procedat aproximativ. Din acest motiv, nu putem avea încredere în factorul numeric din faţa formulei. Dar tot restul s-a obţinut corect. (Şi factorul mZ2e4/h2 şi, ceea ce este deosebit de important, dependenţa faţă de „numărul cuantic” n).

O rezolvare corectă ar fi necesitat cunoaşterea ecuaţiei fundamentale a mecanicii cuantice, ecuaţia lui Schrödinger şi a unei matematici foarte complicate comparativ cu noţiunile şcolare. Ceea ce am obţinut reprezintă tocmai soluţia calitativă, când rezultatul este de o precizie până la un factor numeric necunoscut, diferit faţă de unitate de un număr de ori, dar care redă corect caracterul dependenţei faţă de parametrii problemei. Rezolvarea calitativă uşurează extraordinar obţinerea soluţiei exacte, întrucât clarifică trăsăturile principale ale fenomenului. Mai mult, dacă există o soluţie calitativă, iar soluţia exactă nu se poate obţine analitic, aceasta din urmă se

poate afla cu ajutorul calculatoarelor fără pierderi esenţiale în ce priveşte înţelegerea problemei.

Cuantificarea rotaţiei

După cum vom vedea imediat, aplicarea mecanicii cuantice la un corp în rotaţie va avea drept consecinţă „îngrădirea" momentului cinetic; acesta nu mai poate lua orice valoare, ca în mecanica clasică, ci doar valori multiple de h. Acest lucru este valabil şi pentru momentul total, şi pentru proiecţia lui pe o axă oarecare. De aceea, un corp care se roteşte nu se poate înclina sub orice unghi, ci numai sub anumite unghiuri. Am amintit despre cuantificarea rotaţiei în secţiunea consacrată frumuseţii ştiinţei, atunci când am examinat simetriile interne.

În cazul corpurilor mari, discontinuitatea trece neobservată din cauza valorii mici a lui h. Altfel stau însă lucrurile cu atomii şi moleculele, care au un moment cinetic mic. Acest fenomen uimitor, care a fost denumit „cuantificarea spaţială" a fost descoperit experimental încă înainte de apariţia mecanicii cuantice. În 1922, Otto Stern şi Walther Gerlach au trecut un fascicul de atomi printr-un câmp magnetic neomogen. Atomul reprezintă un mic magnet, având momentul magnetic proporţional cu momentul cinetic. De aceea, atomii cu proiecţii diferite ale momentului după direcţia câmpului magnetic, erau deflectaţi în mod diferit. Să admitem că momentul cinetic al atomului este egal cu unu. Atunci sunt posibile trei proiecţii: 1, 0, 1, şi, după deflecţie, fasciculul se desparte în trei fascicule, corespunzătoare celor trei valori ale proiecţiei momentului cinetic. Aşa s-a şi întâmplat în experienţa lui Stern şi Gerlach.

Vom obţine cuantificarea spaţială din raţionamente simple.

La suprafaţa Pământului, o piatră poate efectua trei mişcări independente: două mişcări libere după cele două direcţii orizontale şi o mişcare accelerată după direcţia verticală. Un satelit care ocoleşte Pământul efectuează de asemenea trei mişcări independente: după meridian, după paralelă şi după direcţia radială spre centrul Pământului.

La fel stau lucrurile cu o particulă aflată într-un câmp independent faţă de unghiuri, şi dependent numai de distanţa până la centru (cum ar fi câmpul coulombian al nucleului). Şi aici au loc trei mişcări independente: după meridian, după paralelă şi după rază. Toate trei mişcările pot fi cuantificate în

mod independent.

Să examinăm mişcarea după paralelă. Orientăm axa z de la Polul Sud la Polul Nord. Aflăm lungimea de undă corespunzătoare particulei. Fie o distanţa până la axa de rotaţie. Atunci,

— 2nh 27ihp înv Mz

Aici, Mz este momentul cinetic referitor la axa z sau, cu alte cuvinte, proiecţia momentului cinetic total pe axa z. Pe lungimea *2izp* trebuie să se aşeze un număr întreg de unde, altfel nu s-ar obţine o undă staţionară. Efectuând o rotaţie completă şi revenind în acelaşi punct pe paralelă trebuie să avem aceeaşi valoare a funcţiei de undă ca şi înainte de rotaţie. Astfel, 2np nX unde n este un număr întreg. Din expresia lui X obţinem:

Mz nh

Proiecţia momentului cinetic este un număr întreg înmulţit cu h. Valoarea maximă posibilă a proiecţiei se obţine atunci când rotaţia completă are loc după axa z. Atunci, Mz M am h. Am obţinut deci că şi momentul cinetic total al sistemului cuantic este un număr întreg, înmulţit cu h.

Vom măsura momentul cinetic şi proiecţia lui în unităţi h. Observăm că proiecţia momentului poate lua toate valorile întregi posibile de la – M/h la M/h. Pentru momentul cinetic M/h 1, MJh 1,0, 1.

Există particule care, datorită mişcării interne au un spin semiîntreg (momentul cinetic împărţit la h); exemple sunt electronul şi protonul al căror spin este 1/2. Nu-i de mirare că, pentru descrierea mişcării interne, schema noastră simplă nu este adecvată. Dar rezultatul se va schimba destul de puţin dacă la momentul cinetic total contribuie particule cu spinul 1/2, ca în atomul de hidrogen, care are un singur electron, cu spinul necompensat de alţi electroni. Momentul cinetic total al electronului şi proiecţia lui nu au valori întregi, ci semiîntregi. Astfel, în starea fundamentală, spinul electronului din atomul de hidrogen este egal cu 1/2, iar proiecţiile sale sunt 1/2 şi – 1/2.

Oscilatorul cuantic

Pentru aplicarea mecanicii cuantice nu este esenţial cum anume se realizează oscilatorul, fie că reprezintă o greutate oscilând pe un resort, fie un circuit oscilant.

Să notăm prin o coordonata „generalizată” a oscilatorului, care poate fi mărimea abaterii greutăţii de la poziţia de echilibru, ori în cazul circuitului oscilant, sarcina de pe armăturile unui condensator. Să scriem energia oscilatorului sub forma sumei dintre energia cinetică şi cea potenţială:

a procesului ondulatoriu legat de „particula” noastră, X 27uh/ßqz. La numitor, ca şi în cazul electronului, se află produsul dintre „masa” şi „viteza particulei”. Întrucât „particula” se mişcă în zona de la – o la q, condiţia ca să ia naştere o undă staţionară implică aşezarea unui număr întreg de seminude pe lungimea 2q: 2q/(X/2) n 1; n 0, 1, 2, 3...

Vom găsi mai întâi viteza

2nh 7uh (n 1) qw – ßX 2ßq

Valoarea cea mai mică a lui n este egală cu zero, caz în care pe lungimea 2q se aşază o jumătate de lungime de undă: ventrul la mijloc, iar nodurile la capete. În această situaţie, nedeterminarea impulsului Ap-pßq’ – h/q în concordanţă cu relaţia de incertitudine.

Înlocuind expresia vitezei în energia cinetică, avem:

— (Tuh)* (n l)[37]

Pentru energia totală obţinem:

F (av W (n 1)2, Tq2

Valoarea lui o pentru care oscilatorul are cea mai mică energie, se obţine dacă se egalează energia cinetică şi cea potenţială:

— 7uh (n 1) 2/ßy

Introducând-o în expresia energiei, obţinem:

En y ho (nl) n 0,1,2...

Într-adevăr, mărimea /y/ß co reprezintă frecvenţa oscilatorului clasic. Calculul exact dă următoarea expresie a energiei:

X ho (n lj, n 0, 1, 2...

Astfel, rie-am înşelat numai în privinţa factorului numeric (tut2 în loc de

37 2

Mărimea ß este „masa" iar mărimea y este „constanta elastică" a oscilatorului. Putem considera oscilatorul ca pe o „particulă" oarecare, cu masa ß, care oscilează pe un resort de constantă elastică y. Să introducem lungimea de undă X

1) al lui n şi, de asemenea, în ceea ce priveşte valoarea numerică a energiei stării celei' mai joase, când n 0 (7rho/2, în loc de heo/2). Toate celelalte valori sunt corecte! Acum, când rezultatul a fost obţinut, este necesar să reflectăm asupra metodelor folosite la dobândirea lui şi asupra consecinţelor care decurg din expresiile calculate pentru energia oscilatorului şi pentru mărimea q2.

Înainte de toate, fără să ne interesăm de structura lui, am folosit în cazul oscilatorului nostru principiile mecanicii cuantice stabilite iniţial pentru electroni. Desigur, este firesc să ne aşteptăm ca principiile generale să fie aceleaşi şi pentru alte particule, cu masa diferită de masa electronului. O astfel de generalizare a fost confirmată cu mare precizie de experiment. Dar din ce cauză aceste principii sunt aplicabile şi la circuitul oscilant, unde rolul „coordonatei" îl joacă sarcina de pe armăturile condensatorului? În acest caz am folosit o supoziţie deseori utilizată în fizica teoretică a secolului al XX-lea. Dacă energia a două sisteme depinde în egală măsură de coordonate şi de viteze, atunci toate proprietăţile acestor sisteme sunt absolut identice, oricare ar fi semnificaţia „coordonatei" şi vitezei.

N-a existat niciun exemplu în care această presupunere să fi contrazis experimentul. Din acest motiv, avem dreptul să considerăm rezolvată problema aplicării mecanicii cuantice dintr-o dată pentru toţi oscilatorii posibili.

Ce semnificaţie au rezultatele obţinute? Cum trec ele în formulele mecanicii clasice? În primul rând, am stabilit că energia nu se modifică în mod continuu, ci în porţii de mărime h co. Este adevărat că valoarea lui h este foarte mică (în sistemul CGS h IO™27 erg. S)[38] şi pentru oscilatorii macroscopici obişnuiţi comportarea în salturi a variaţiei energiei este practic neobservabilă. Corectitudinea expresiei energiei oscilatorului a fost verificată cu o mare precizie pentru multe tipuri de oscilatori.

Dar noi am mai stabilit încă o proprietate importantă a oscilatorului cuantic. În starea cu energie minimă, oscilatorul clasic se află în repaus, în starea de echilibru, în timp ce tot în stare de minim energetic, la n 0, efectuează oscilaţii („vibraţii de zero"). Energia cinetică şi potenţială a acestor oscilaţii de zero are aproximativ valoarea h*. Valoarea medie a coordonatei oscilatorului este egală cu zero, iar valoarea medie a pătratului coordonatei se

38 Vezi nota de la p. 145. Nota trad.

află cu ajutorul formulei scrise mai sus. Aceste proprietăţi remarcabile ale oscilatorilor cuantici sunt bine verificate experimental şi sunt deosebit de importante pentru fizica contemporană.

Dacă oscilaţiile sonore ale corpului solid se interpretează ca fiind produse de nişte oscilatori cuantici, ajungem la concluzia că la temperatura xie zero absolut atomii nu sunt ficşi, ci efectuează oscilaţii de zero, fapt confirmat de experimentele de difuzie a luminii la temperaturi joase! Dacă vom considera acum undele electromagnetice ca pe nişte oscilatori în spaţiul vid, ajungem la concluzia că în vid, chiar când nu există nici particule, nici cuante, trebuie să se producă „oscilaţii de zero” ale câmpului electromagnetic. Aceste oscilaţii au fost de asemenea descoperite experimental! Dar problema impune o discuţie mai amănunţită.

Cuantificarea câmpului

Ce este cuanta? Suntem acum destubde pregătiţi ca să răspundem la această întrebare. Am introdus fără explicaţii câţiva termeni cum ar fi: cuantificarea, proces ondulatoriu legat de particulă, oscilator cuantic!... Am început să operăm cu ele, fără să le înţelegem prea bine şi, cu toate acestea, ştim acum în ce mod depinde energia nivelelor atomului de hidrogen de numărul cuantic n, am aflat că oscilatorul cuantic oscilează în starea lui energetică cea mai joasă, ba chiar am început să aplicăm rezultatele cuantificării i oscilatorului la astfel de obiecte cum ar fi oscilaţiile câmpului electromagnetic în vid. Pe urmă, am observat dintr-o dată că începem să înţelegem. Iată un exemplu de înţelegere în procesul muncii. Dacă am fi încercat să înţelegem deplin înainte de a face calculele simple de mai sus, n-am fi reuşit.

Dar ce este cuanta? Fie două ecrane metalice, aşezate paralel unul faţă de celălalt. Între ele se poate excita o undă electromagnetică staţionară. Cum se procedează? Ştiţi că antena unui emiţător radio transmite unde electromagnetice, care, ajungând în antena receptorului, se transformă în cele din urmă într-un sunet emis de megafon sau într-o imagine de pe ecranul televizorului. Să presupunem că o astfel de undă ajunge în spaţiul dintre ecranele metalice şi se deplasează perpendicular pe acestea. Dacă între ecrane încape un număr întreg de semiunde, acolo ia naştere o undă staţionară, ca într-o coardă elastică. Într-adevăr, dacă ciupiţi o coardă fixată la

capete, pe aceasta se vor genera la început unde progresive dar, după reflectarea lor de capetele corzii, se stabilesc una sau mai multe unde staţionare având diverse lungimi.

Să admitem că am excitat tonul fundamental al undei electromagnetice dintre ecrane. Atunci, în punctul aflat la mijlocul distanţei dintre ecrane, amplitudinile intensităţilor câmpurilor electric şi magnetic vor fi maxime, iar câmpurile din acest punct vor oscila periodic. Dar, dacă o mărime oarecare oscilează, atunci avem de-a face cu un oscilator şi tot ceea ce trebuie făcut este găsirea unei coordonate gene-! ralizate corespunzătoare. Pentru oscilatorul nostru, putem considera drept coordonată intensitatea câmpului electric în mijloc, rolul vitezei fiind jucat în acest caz de câmpul magnetic, a cărui mărime este proporţională cu viteza de schimbare a câmpului electric. Amintiţi-vă exemplul circuitului oscilant, unde energia potenţială a oscilatorului era proporţională cu pătratul sarcinii condensatorului, sau cu pătratul câmpului electric, iar energia cinetică era proporţională cu pătratul câmpului magnetic din bobină.

Este clar că acestui oscilator i se pot aplica aceleaşi principii de cuantificare ca oricărui alt oscilator. Dacă lucrurile stau astfel, atunci energia undei noastre staţionare se poate modifica numai în porţii de heo.

Dacă distanţa dintre cele două ecrane este 1, atunci, pentru tonul fundamental, avem relaţia:

j X ttc

2 co

Lungimea de undă este legată de perioada T prin relaţia X cT, iar perioada este legată de frecvenţa co prin formula T.

Co

Dacă unda se găseşte în starea cu n 0 (starea cea mai joasă), se spune că între ecrane nu există cuante. Dacă însă unda trece în starea cu n 1, se spune că a apărut o cuantă cu lungimea de undă X 21.

Un rezultat analog se poate obţine pentru orice armonică superioară, când pe distanţa 1, se aşază în semiunde. Dacă am este numărul stării excitate al undei a m-a, se spune că există am cuante cu lungimea de undă Xm.

M în acest fel, numărul armonicei superioare, care determină lungimea undei dă tipul cuantei (cuantă cu o lungime de undă dată), iar numărul excitaţiei am dă numărul de cuante de tipul respectiv. De obicei, cuantele sunt caracterizate nu prin lungimea lor de undă, ci printr-o mărime care se numeşte „vectorul de undă”, legată de lungimea de undă prin relaţia simplă: k 2tc/X. Mai avem şi relaţia co ck.

Să considerăm acum o undă progresivă. În acest caz au loc de asemenea oscilaţii periodice, iar energia acestora, pentru fiecare vector de undă k, are aspectul corespunzător oscilatorului. Energia undei se determină tot cu formula En (n 1/2) ho) şi se modifică tot în porţii he «, dar, spre deosebire de unda staţionară, unda progresivă are impuls, care poate fi pus în evidenţă cu ajutorul radiometrului. Când palele acestuia o absorb, unda le transmite impulsul şi le obligă să se rotească. De aceea, atunci când numărul caracterizând excitaţia undei progresive vectorul de undă K creşte cu o unitate, aceasta înseamnă apariţia unei cuante cu energia e heo şi cu impulsul o ha/e. Ultima relaţie reprezintă legătura cunoscută dintre impuls şi lungimea de undă, stabilită de către de Broglie.

Prin urmare, pentru undele progresive cuantele de lumină pot ficonsiderate particule de Broglie, de care este legat procesul ondulatoriu, în timp ce în cazul undei staţionare, cuanta are impulsul mediu egal cu zero.

N-am reuşit, desigur, să înţelegem pe deplin. Totuşi, putem da de pe acum un răspuns clar la întrebarea ce este o cuantă de lumină. Este porţia de energie a undei electromagnetice cu un vector de undă dat.

Această undă este un oscilator cuantic.

Mai mult, ne-am lămurit acum ce sunt oscilaţiile de zero ale câmpului electromagnetic; ele sunt vibraţiile de zero ale oscilatorilor cuantici care corespund undelor electromagnetice având toţi vectorii de undă posibili, fiecărui vector de undă corespunzându-i oscilatorul său.

Aplicarea mecanicii cuantice la alte câmpuri dă rezultate analoage. Există oscilaţii de zero, adică fluctuaţii ale tuturor câmpurilor posibile în starea fundamentală (starea cu energia cea mai joasă), oscilaţii constând din apariţia şi dispariţia perechilor electron-pozitron, nucléon-antinucleon, sau a altor perechi (pioni sau alţi mezoni). Ca şi fotonul, aceste particule apar ca stări excitate ale câmpurilor respective. În afară de aceasta, există câmpuri care nu pot fi considerate compuse

din particule, cum. Ar fi câmpurile electrice sau magnetice statice. Noţiunea de câmp este mai largă decât noţiunea de particulă.

Pentru a înţelege mai bine trebuie ca tu însuţi să rezolui probleme ale fizicii. Studiul pasiv oferă numai o reprezentare palidă a frumuseţilor care se descoperă numai prin muncă independentă.

VIDUL, NUCLEELE, STELELE

A

ceste trei obiecte ale cercetării de fizică, atât de departe unul de celălalt, sunt în realitate foarte strâns legate între ele.

Studiul proprietăţilor vidului – ale spaţiului fără particuleca mediu fizic, permite predicţiunea instabilităţii sale în câmpuri intense. Din cauza instabilităţii, are loc reconstrucţia vidului; la rândul ei, aceasta duce la instabilitatea materiei nucleare în cazul unei densităţi mari. Se pot forma în acest caz nuclee anomale, cu proprietăţi diferite de cele ale nucleelor atomice obişnuite. Acest fenomen provoacă explozia stelelor care au o densitate nucleară. Materia stelei este astfel împrăştiată şi poate feri steaua de transformarea ei într-o „gaură neagră”.

Astfel, toate domeniile fizicii se împletesc într-un singur mănunchi, constituind întruchiparea principiului unităţii naturii, amintit în capitolul „Despre frumuseţea ştiinţei”.

Cum este alcătuit vidul?

Acolo-s focuri noi şi culori nemaivăzute» Mii de vedenii uşoare ca visul, Care cer întruchipare.

G. Apollinaire

Cu ce este umplut spaţiul dintre corpuri? Ce rămâne într-un clopot de sticlă conţinând la început aer dacă o pompă ideală scoate de acolo toate particulele? Spaţiul, adică vidul, în care se mişcă moleculele, atomii, protonii, neutronii, electronii, cuantele, nu este cumva o noţiune abstractă? Nicidecum. Spaţiul nostru fizic, sau vidul, nu este pur şi simplu un obiect geometric, nu este o cutie pentru corpurile fizice, ci un sistem fizic complicat, cu proprietăţi din cele mai interesante, total diferite de proprietăţile corpurilor solide, lichide sau gazoase.

Bogăţia aspectelor acestui obiect fizic s-a dezvăluit o dată cu dezvoltarea pe care a cunoscut-o fizica în ultimele decenii. Studiul vidului se întrepătrunde cu cele mai profunde noţiuni ale cunoaşterii ştiinţifice, cum ar fi cauzalitatea, legătura geometriei cu materia, proprietăţile de simetrie ale câmpurilor şi particulelor, legătura dintre simetrie şi legile de conservare. Dar să începem cu începutul»

Se poate împinge un corp fără a-l atinge?

Ne-am obişnuit cu ideea că două corpuri acţionează unul asupra celuilalt prin contact. De la piatra aruncată în apă, porneşte o undă care face să oscileze crenguţele plutind la suprafaţă. În undă, acţiunea se propagă din aproape în apioape. Sunetul se propagă prin transmiterea presiunii de la un volum la altul al mediului; în vid nu există sunete. Pentru a lovi o ţintă, trebuie să tragi cu arcul, sau să arunci o piatră. Dar cum se poate explica faptul că magnetul atrage de la distanţă pilitura de fier, sau că un pieptene electrizat atrage bucăţele de hârtie? De ce piatra este atrasă de Pământ, deşi între cele două corpuri nu există niciun resort întins?

Iată explicaţia firească: în spaţiul din apropierea corpurilor încărcate, din preajma unui magnet, sau de la suprafaţa Pământului, starea vidului se modifică. Starea modificată se numeşte câmp, acesta din urmă acţionând

asupra corpului încărcat, asupra magnetului, sau pietrei, obligându-le să se mişte. În toate cele trei cazuri, câmpurile sunt diferite: electric, magnetic, gravitaţional, dar de fiecare dată forţa se transmite prin spaţiul gol de la un punct la altul, ca printr-un fluid nevăzut. Acest mecanism de transmitere se numeşte acţiune din aproape în aproape.

Fizica zilelor noastre se întemeiază pe acţiunea din aproape în aproape; toate acţiunile se transmit de la un punct la altul cu ajutorul câmpurilor. Dar fizicienii n-au ajuns dintr-o dată la această imagine firească.

A existat şi un alt punct de vedere – acţiunea la distanţăconform căruia în spaţiu nu se întâmplă nimic; există însă o forţă care se transmite instantaneu la distanţă de la un corp la altul.

Ideea acţiunii la distanţă a căpătat o răspândire deosebit de largă pe timpul lui Newton, când acesta a elaborat teoria atracţiei universale. Presupunerea că acţiunea se transmite instantaneu de la un corp la altul nu l-a împiedicat pe Newton să obţină legile mişcării corpurilor cereşti, care coincideau cu o imensă precizie cu observaţiile. Acum ştim de ce: corpurile cereşti se deplasează cu viteze mici, iar interacţiunea gravitaţională străbate distanţa dintre ele cu viteza luminii şi pare deci instantanee.

Apăruseră însă dificultăţi serioase în legătură cu proprietăţile luminii: se ştia că lumina se propagă cu viteză finită, în afară de aceasta, lumina trece prin toate punctele aflate pe linia razei de lumină. Faptul poate fi observat dosebit de bine în ceaţă, când fasciculul de lumină se vizualizează. Newton a ieşit din această dificultate propunând „teoria corpusculară a luminii”. Sursa luminoasă este un corp care emite particule – corpusculi ce transmit lumina. În această interpretare, propagarea luminii nu contrazice ideea acţiunii la distanţă.

Dar concepţia despre particulele care transmit lumina s-a dovedit a fi nu chiar fără cusur, întrucât ea este greu de împăcat cu proprietăţile ondulatorii ale luminii, cum ar fi interferenţa (amintiţi-vă de petele de curcubeu de pe apă, rezultate din interacţiunea luminii reflectată de apă şi de-o peliculă de grăsime) şi cu difracţia pe lângă un obstacol (lumina se curbează cu atât mai mult, cu cât lungimea ei de undă este mai mare). Newton a încercat, dar n-a reuşit să unifice în mod convingător descrierea corpusculară cu cea ondulatorie a luminii.

Astăzi ştim că în vid toate interacţiunile: electrică, magnetică,

gravitaţională, nucleară, se transmit de la un punct la altul cu o viteză care nu depăşeşte viteza luminii. Dacă am deplasat un corp într-un interval de timp foarte scurt, forţa de greutate care acţionează asupra altui corp, trebuie să se modifice. Dar dacă acest al doilea corp se află departe de primul, atunci va trece mult timp până când va primi un impuls. Unde se află perturbaţia, în intervalul de timp, în care primul corp a încetat să se mai mişte, iar cel de-al doilea nu are încă nicio dovadă cu privire la noua poziţie a celui dintâi? Teoria acţiunii la distanţă nu putea răspunde în mod acceptabil la această întrebare.

De aceea, mulţi fizicieni au respins ideea acţiunii la distanţă. Pentru explicarea transmiterii acţiunii la distanţă s-a imaginat un mediu special – eterul care ar umple tot spaţiul dintre corpuri. Acţiunea se transmite prin deformarea eterului în jurul corpurilor încărcate sau magnetizate, aceasta fiind şi explicaţia forţei care acţionează asupra altor corpuri încărcate sau magnetizate. Lumina s-ar propaga în eter ca sunetul în corpul solid. Deformaţia eterului se transmite de la un punct la altul.

Evoluţia fizicii a confirmat corectitudinea acestei explicaţii. Numai că imaginea despre structura eterului a trebuit să fie totuşi modificată. Până la începutul secolului al XX-lea, fizicienii au încercat să construiască eterul după chipul şi asemănarea corpurilor solide şi fluide cunoscute, când, de fapt, acesta este un mediu, iar proprietăţile lui trebuie studiate nu prin analogie cu exemplele cunoscute, ci în mod independent.

Proprietăţile, electromagnetice ale vidului

Cu ajutorul uimitoarelor sale ecuaţii, obţinute în 1878, James Maxwell a unificat optica, electricitatea şi magnetismul, care până atunci constituiseră domenii diferite ale fizicii. Maxwell a avut predecesori importanţi, dintreveare se detaşează Michael Faraday, descoperitorul legii inducţiei electromagnetice (1830).

Dacă se variază câmpul magnetic, atunci, într-o spiră de sârmă care înconjoară fluxul magnetic, apare un curent electric. Toată lumea ştie că pe acest fenomen se bazează dinamurile: mişcarea magneţilor induce curent. Cât de abstract părea fenomenul pe atunci! Şi cât de repede, întemeindu-se pe acesta, s-au construit centralele electrice din zilele noastre care alimentează cu lumină şi energie marile oraşe!

Apariţia curentului ca urmare a variaţiei câmpului electric

demonstrează că în jurul fluxului magnetic apare un câmp electric inelar care îl înfăşoară.

Încă din 1830, Hans Oersted a descoperit că, trecând printr-un conductor, curentul electric generează în jurul său un câmp magnetic inelar. Ce se va întâmpla dacă modificăm periodic potenţialul câmpului electric care dă naştere curentului din conductor? Se va obţine un curent variabil şi un câmp magnetic variabil.

Maxwell a intuit în mod genial că generarea câmpului magnetic poate avea loc nu numai prin mişcarea sarcinilor electrice, ci şi prin variaţia câmpului electric însuşi, analog modului în care câmpul magnetic variabil generează câmp electric. Dacă în vreo regiune a spaţiului vid modificăm câmpul electric, în jurul acestei regiuni ia naştere câmp magnetic variabil.

Aşadar, vidul are două noi proprietăţi remarcabile: câmpul magnetic variabil produce un câmp electric variabil, iar câmpul electric variabil produce un câmp magnetic variabil. Dar din. Aceste două proprietăţi decurge a treia, nu mai puţin importantă, şi anume, propagarea undelor electromagnetice în vid. Într-adevăr, câmpul electric variabil care ia naştere în apropierea antenei unui radioemiţător, formează în jurul său un câmp magnetic care variază cu aceeaşi frecvenţă, iar acesta; conform legii lui Faraday, generează în vecinătatea sa un câmp electric variabil. Astfel, această perturbatio a vidului se propagă în toate direcţiile.

La sfârşitul anilor ’80 ai secolului al XIX-lea, la un deceniu după apariţia ecuaţiilor lui Maxwell, Heinrich Hertz a demonstrat experimental propagarea undelor electromagnetice. Aproape toate bunurile civilizaţiei se bazează pe aceste descoperiri: centralele electrice, radioul, televiziunea, metroul, troleibuzul, liftul, telefonul, picupul, maşina electrică de bărbierit – toate lucrurile mari şi mici care ne înconjoară.

După Maxwell, oscilaţiile electromagnetice trebuie să se propage cu viteza luminii. Era firesc să se ajungă la concluzia că şi lumina este o undă electromagnetică. Ea se deosebeşte de undele radio ninnai prin lungimea undei X. Pentru lumina vizibilă, X – 5 OOOA 5 x IO™5 centimetri, adică mult mai mică decât lungimea undelor radio.

Teoria lui Maxwell a constituit triumful acţiunii din aproape în aproape: toate acţiunile electromagnetice se transmit printr-un mediu numit eter. Dar tocmai după apariţia teoriei lui Maxwell au început să se evidenţieze

contradicţiile noţiunii de eter. S-a pus însă întrebarea: mişcarea corpurilor antrenează eterul? Unele experimente au demonstrat o antrenare parţială sau totală a eterului, altele au arătat că eterul nu este deloc antrenat. Celebrul experiment al lui Michelson, efectuat în 1887, a demonstrat cu o precizie colosală că viteza luminii este aceeaşi, indiferent dacă viteza ei este măsurată în acelaşi sens cu mişcarea Pământului sau în sens cóntrar acestei mişcări. Mişcarea sursei nu influenţează viteza de propagare a luminii; dacă lumina se propagă în eter, de aici rezultă că eterul este în întregime antrenat de Pământ. Totuşi, măsurarea vitezei luminii în apa curgătoare, (experienţa lui Fizeaudin 1853) putea fi explicată numai printr-o antrenare parţială a eterului de către mişcarea mediului.

Eterul a murit, trăiască eterul1

La începutul secolului al XX-1 a, ideea acţiunii din aproape în aproape a fost dezvoltată în continuare în cadrul teoriei relativităţii şi gravitaţiei a lui Einstein. S-a arătat că nu numai forţele electromagnetice, ci şi cele gravitaţionale se propagă în vid cu Viteza luminii. Viteza luminii a început să pătrundă în mecanică şi în teoria gravitaţiei, la fel cum pătrunsese în electrodinamică.

Contradicţia dintre experienţa lui Fizeau şi cea a lui Michelson a fost înlăturată prin noua formulă de compunere a vitezelor, ce decurgea din teoria relativităţii. Rezultatele experienţei lui Fizeau s-au explicat fără niciun fel de presupuneri privitoare la proprietăţile eterului: în această experienţă, v iteza de curgere a apei se aduna cu viteza luminii nu aritmetic, ci după o formulă mai complicată. A dispărut însăşi n ecesitatea introducerii noţiunii de eter, dar a apărut un obiect nou, vidul, care nu mai conţine niciun fel de contradicţii. Eterul a murit.

La începutul secolului, se părea că proprietăţile vidului erau epuizate de forţele gravitaţionale şi electromagnetice. Dar studiul nucleelor atomice a demonstrat că, în afară de forţele gravitaţionale şi electromagnetice, mai există şi alte forţe care menţin neutronii şi protonii legaţi în nucleu, şi anume, forţele nucleare. Din punctul de vedere al acţiunii din aproape în aproape, acestea trebuie privite şi ele ca o stare excitată a vidului. Aşadar, vidul mai are încă o proprietate.

Dar bogăţia vidului a început să se reveleze cu adevărat după aplicarea

mecanicii cuantice la câmpul electromagnetic şi la alte câmpuri, caracterizate prin perechile de particule electron-pozitron, proton-antiproton ş.a. După construirea acceleratorilor de particule încărcate, s-a aflat că la ciocnirile dintre nucleonii din vid se pot genera jerbe de diferite particule. Vidul nxişună de particule, care trebuie doar scoase de acolo! A devenit clar că vidul reprezintă în sine un mediu uimitor de complicat şi de interesant. L-am putea denumi din nou eter, dacă n-ar persista teama confuziei cu noţiunea naivă şi contradictorie de eter din secolul trecut.

Mecanica cuantică a câmpurilor din vid

La sfârşitul anilor ’20, s-au petrecut două evenimente? Paul Dirac a elaborat renumita sa ecuaţie şi a aplicat apoi legile mecanicii cuantice la câmpul electromagnetic.

Ecuaţia lui Dirac reprezintă generalizarea mecanicii cuantice la particulele cu viteze comparabile cu viteza luminii. Din această ecuaţie se obţine în mod automat momentul magnetic corect al electronului, şi decurg corecţiile la mişcarea electronului în atomii grei. Dar realizarea cea mai importantă a fost demonstrarea existenţei dublurii electronului, a antiparticulei numită pozitron, care se deosebeşte de electron numai prin semnul sarcinii. În 1932, această predicţiune a fost confirmată, pozitronul fiind pus în evidenţă de Carl Anderson, care a primit pentru această descoperire premiul Nobel.

Ecuaţia lui Dirac prevede existenţa antiparticulelor nu numai pentru electron, ci şi pentru orice particulă cu spinul 1/2. Există deci antineutronul şi antiprotonul. Există şi antiparticulele particulelor cu spin întreg, ca, de exemplu, particulele cu spin zero, descrise de ecuaţia Klein-Gordon-i Fock. Cum sunt legate toate acestea de proprietăţile vidului? Am vorbit despre vid la sfârşitul capitolului precedent. Să enumerăm pe scurt rezultatele obţinute acolo.

Aplicarea mecanicii cuantice la câmpul electromagnetic a dus la consecinţe uimitoare. Câmpul electromagnetic închis într-o cutie cu pereţi reflectă tori se comportă ca o mulţime de oscilaţii electromagnetice având diferite lungimi de undă. Se menţin numai oscilaţiile care se aşază cu un număr întreg de semilungimi de undă pe lungimea cutiei. Fiecare vibraţie poate fi considerată ca un oscilator, în care rolul energiei cinetice este jucat

de energia câmpului magnetic, iar cel al energiei potenţiale, de energia electrică. Să ne reamintim rezultatele cuantificării oscilatorului obişnuit. În starea fundamentală, când energia oscilatorului este minimă, energiile cinetică şi potenţială nu sunt separat egale cu zero (cum ar fi fost în cazul oscilatorului clasic). Coordonata şi viteza oscilatorului nu au valori determinate. Funcţia de undă permite găsirea probabilităţii uneia sau alteia dintre valorile coordonatei sau vitezei, în mod analog, se poate indica probabilitatea uneia sau alteia dintre valorile câmpului electric sau magnetic pentru fiecare dintre oscilatorii câmpului electromagnetic. Câmpurile electric şi magnetic efectuează „oscilaţii de zero”. Valorile, pătratice medii ale câmpurilor electric şi magnetic sunt diferite de zero, chiar şi atunci când în spaţiu nu există nicio particulă încărcată şi nicio cuantă de câmp electromagnetic. Existenţa oscilaţiilor de zero s-a confirmat prin multe experimente. Astfel, aceste oscilaţii fac electronul să vibreze în timpul mişcării sale în atomi. Ca rezultat, electronul se comportă ca şi când s-ar fi transformat într-o sferă cu raza egală cu amplitudinea vibraţiei, motiv pentru care interacţionează mai slab cu nucleul, decât un electron punctual. Energiile liniilor spectrale emise de electron se deplasează. Valoarea teoretică a deplasării a coincis exact cu cea obţinută experimental.

Câmpurile care descriu particulele cu spinul 1/2 (numite câmpuri fermionice) se cuantifică altfel, dar rezultatul este foarte asemănător. Şi aceste câmpuri au oscilaţii de zero în vid; acolo apar şi dispar perechi electron-pozitron, nucleonantinucleon şi în general perechi de particule cu orice spin: Vidul este umplut de astfel de particule nenăscute, generate şi anihilate; ele se numesc „virtuale”.

Este suficient să excităm vidul, de exemplu, ciocnind doi nucleoni, ori un electron cu un pozitron, ca perechile virtuale din vid să se. Transforme în. Particule reale. Prin ciocniri se nasc noi particule.

Jerbe de particule

La energii suficient de mari, din vid apar jerbe de diferite particule şi antiparticule. Să urmărim mai amănunţit acest fenomen.

Să admitem că protonii cad pe substanţă şi sunt deviaţi’ de nucleonii din nuclee. Experimentul măsoară numărul de particule deviate sub un unghi sau altul. Pentru a calcula numărul particulelor deviate, este suficient să se ştie ce

suprafaţă „umbreşte” fiecare nucléon. Această suprafaţă se numeşte „secţiune transversală”. Cunoscând numărul nucleonilor din unitatea de volum de substanţă şi secţiunea lor transversală, este uşor de calculat şi suprafaţa totală „umbrită” şi numărul particulelor împrăştiate. Şi invers, dintr-un asemenea experiment se poate afla cum se împrăştie un proton pe un nucléon. Secţiunea transversală de împrăştiere a nucleonului pe nucléon este determinată de raza regiunii în care particulele mai sunt încă în interacţiune. (Să ne amintim că forţele nucleare scad repede cu distanţa). Mecanica cuantică aduce uneori corective importante acestui tablou clar. Particulele lente au o lungime de undă mare, întrucât lungimea de undă este invers proporţională cu impulsul particulei. Acest fapt a fost menţionat în capitolul „Cum lucrează fizicienii”. Din această cauză, secţiunea de absorbţie a neutronilor foarte lenţi este de sute şi mii de ori mai mare decât dimensiunile geometrice ale nucleului care îi absoarbe. Totuşi, în cazul de faţă, absorbţia nu trebuie să ne neliniştească, întrucât vom examina particule cu o energie imensă. Lungimea lor de undă este considerabil mai mică decât dimensiunile interacţiunii efective.

Să observăm ciocnirea a doi protoni care se îndreaptă unul spre celălalt, cu o energie mult mai mare decât energia lor de repaus. Ce se va petrece la ciocnire? După cum arată experimentul, la o astfel de ciocnire iau naştere două jerbe de particule care zboară în direcţia fiecăruia dintre protoni. Numărul de particule din jerbe creşte o dată cu mărimea energiei protonilor. Asemenea jerbe se pot vedea în număr mare pe plăcile fotografice cu care se studiază razele cosmice, sau în condiţii de laborator, la acceleratorii de mare energie.

Care este secţiunea transversală în acest proces? Întrucât lungimea de undă a particulelor care se ciocnesc este foarte mică, ne putem aştepta, pe bună dreptate, ca secţiunea să fie determinată de dimensiunile regiunii de interacţiune a celor doi protoni. Dar, aşa. Cum arată experimentul, secţiunea este mult mai mare, ea creşte pe măsură ce creşte energia şi poate depăşi oricât de mult suprafaţa dimensiunilor geometrice. Care este cauza acestui fenomen? Totul se explică prin particulele virtuale cu care este umplut vidul.

Calculele teoretice simple arată că o particulă reală de energie mare este însoţită de un nor de particule virtuale. Cu cât este mai mare energia particulei, cu atât mai multe particule se află în nor şi cu atât mai mari devin

dimensiunile transversale ale acestei aglomerări de particule virtuale. Cu cât este mai mare energia particulei, cu atât mai uşor devin reale particulele însoţitoare. Este suficient ca o margine a norului să lovească o particulă reală şi toate particulele virtuale devin reale. Din această cauză, secţiunea creşte o dată cu energia.

Licărirea geometriei

Teoria gravitaţiei a lui Einstein prevede încă o proprietate-remarcabilă a vidului: câmpul gravitaţional din apropierea corpurilor grele modifică proprietăţile geometrice ale spaţiului. În apropierea Soarelui, geometria se abate de la geometria euclidiană, pe care o studiem la şcoală, iar suma unghiurilor unui triunghi reprezintă ceva mai puţin de 180o, raportul dintre lungimea cercului şi rază reprezintă mai puţin de 2tt, distanţa cea mai scurtă între două puncte diferă de segmentul de dreaptă care trece prin ele. Aceste modificări apar în experimente; trecând pe lângă Soare, razele stelelor îndepărtate se curbează.

Ce se va obţine dacă vom aplica şi câmpului gravitaţional mecanica cuantică, aşa cum am procedat în cazul câmpului electromagnetic?

Există oscilaţii de zero ale câmpului gravitaţional, analoage câmpului electromagnetic. Dar, în prezenţa acestui câmp, aşa după cum am afirmat puţin mai înainte, geometria spaţiului se schimbă. Cuantificarea gravitaţiei duce la oscilaţii de zero ale proprietăţilor geometrice. Raportul dintre lungimea cercului şi rază oscilează în jurul valorii euclidiene; cu cât este mai mică scala, deci cu cât este mai mică raza cercului, cu atât sunt mai mari abaterile. Oscilaţiile geometriei sunt neglijabil de mici chiar şi pentru cele mai mici dimensiuni. Dar se poate indica o astfel de scală, la care din geometria euclidiană nu mai rămâne nici urmă.

Să evaluăm lungimea de undă a vibraţiilor de zero ale câmpului gravitaţional, când geometria devine complet diferită de cea euclidiană. Gradul de abatere Ç al geometriei din câmpul gravitaţional faţă de geometria euclidiană se determină prin raportul dintre potenţialul gravitaţional 9 şi pătratul lui e, viteza luminii Ç cp/c2. Când geo metria este apropiată de cea euclidiană, când orice asemănare dintre cele două geometrii dispare. Energia de vibraţie a regiunii de dimensiune 1 este egală cu E ho – h e/l, unde e/l este ordinul de mărime al frecvenţei oscilaţiilor. Potenţialul gravitaţional creat de

masa în la această distanţă este 9 G y-, unde G este constanta gravitaţiei universale. În locul lui m, trebuie introdusă o masă căreia, conform formulei lui Einstein îi corespunde energia E (m

E Gh

E/c2). Obţinem9 G-. Împărţind această expresie le2 l2c cu c2, obţinem mărimea Ç. Egalând pe Ç cu 1, găsim acea lungime la care geometria euclidiană dispare complet.

P /Gh/e e

Această mărime se numeşte „lungimea Planck". Introduced valorile lui e, G şi h (în sistemul CGS, e 3xl010, G 6,7xl0-8, iar h IO" 27) obţinem P 2xl0" 33 cm.

Cu toată valoarea ei mică, această lungime va juca, se pare, un rol important în viitoarea teorie care va unifica gravitaţia cu toate celelalte interacţiuni electromagnetice, tari şi slabe.

Vidul mai are încă o proprietate: în câmpuri intense, particulele virtuale se transformă în particule reale şi vidul se restructurează.

Dar despre toate aceste vom vorbi în secţiunea următoare.

Instabilitatea vidului şi stările neobişnuite ale materiei nucleare

Cea mai bună soartă a unei teorii fizice este să servească drept fundament unei teorii mai generale, în cadrul căreia să rămână" ca un caz limită.

A. Einstein

Fenomenele despre care va fi vorba încă n-au fost descoperite experimental. Ele există deocamdată numai pe hârtie, ca rezultat al calculelor şi estimărilor teoretice. Dar aceste estimări sunt destul de verosimile, iar fenomenele sunt atât de importante, încât se depun eforturi mari pentru a confirma sau respinge predicţiunile teoriei.

Conform teoriei, materia nucleară, adică materia formată din neutroni şi protoni, se poate găsi în diverse stări – în starea obişnuită, în care se

întâlneşte în nucleele atomice şi într-o stare, neobişnuită, mai densă (dar s-ar putea să existe câteva stări mai dense). Aceasta înseamnă că, alături de nucleele obişnuite, există nuclee anomale cu alte proprietăţi (o altă densitate, un alt raport dintre sarcină şi masă şi cu altă energie de legătură dintre sarcină şi masă, precum şi cu altă energie de legătură a neutronilor şi pro tonilor).

Aşa cum se întâmplă frecvent în fizica teoretică, unde apar în mod neaşteptat legături strînse între fenomene la prima vedere foarte îndepărtate, fenomenul descris este legat de restructurarea vidului în câmpuri intense.

Restructurarea vidului constă în apariţia particulelor, sau, mai precis, în apariţia unui câmp de particule de tip determinat, în funcţie de caracterul câmpului extern. O astfel de restructurare este asemănătoare tranziţiei de fază din materia obişnuită, cum ar fi trecerea metalului în stare supraconductoare. De aceea, înainte de studierea unui obiect atât de complicat cum este vidul, este util să ne amintim ce sunt tranziţiile, de fază obişnuite.

Tranziţiile de jazä

După cum se ştie, sub influenţa condiţiilor externe (temperatura, presiunea, câmpul electric sau cel magnetic care acţionează asupra corpului) una şi aceeaşi substanţă se poate găsi în diverse stări, în diverse „faze”. Trecerile dintr-o fază într-alta se numesc „tranziţii de fază”. De exemplu, la temperaturi sub zero grade, dar la presiuni suficient de mari, gheaţa (faza solidă a apei) se topeşte, ceea ce înseamnă că apa trece din faza solidă în faza lichidă. În afara trecerilor din starea solidă în cea lichidă, sau din starea lichidă în starea gazoasă, există multe alte diferite transformări de fază. De exemplu: trecerea metalelor din starea normală în cea supraconductoare, din starea feromagnetică în starea paramagnetică, transformările din corpurile solide, legate de schimbările simetriei reţelei cristaline, trecerea heliului din starea normală în starea suprafluidă ş.a.m.d. Toate aceste fenomene se descriu cu o singură teorie, ale cărei fundamente au fost puse de L.D. Landau în 1937. De atunci, teoria tranziţiilor de fază s-a îmbogăţit cu multe idei noi,

devenind unul dintre cele mai interesante domenii ale fizicii teoretice cu un mare număr de aplicaţii practice.

Ce anume deosebeşte o fază de cealaltă şi ce uneşte toate aceste fenomene cu origini diferite? S-a dovedit faptul că întotdeauna există o mărime oarecare, numită „parametru de ordine”, egală cu zero într-o fază şi diferită de zero în alta. În cazul tranziţiei din starea solidă în cea lichidă, drept parametru de ordine se poate lua raportul dintre numărul de atomi aşezaţi în ordine directă (în reţeaua cristalină) şi numărul total de atomi. Sub punctul de topire, acest raport este egal cu unu, peste acest punct, este egal cu zero. În această tranziţie, parametrul de ordine se modifică în salt.

În aceste cazuri este vorba de „tranziţii de prima speţa’.

Să examinăm acum trecereadin starea feromagnetică în starça paramagnetică. Starea feromagnetică este starea în care se găseşte materia dintr-un magnet. Acolo, momentele magnetice individuale ale atomilor au o orientare preferenţialămajoritatea momentelor magnetice sunt orientate în lungul axei magnetului. Pe măsura încălzirii magnetului, mişcarea termică împrăştie momentele magnetice în diferite direcţii, iar la o anumită temperatură, momentul magnetic mediu al atomilor în lungul axei magnetului devine egal cu zero, ceea ce înseamnă că substanţa a trecut în starea paramagnetica, în care momentele magnetice ale atomilor sunt orientate dezordonat. La trecerea din starea feromagnetică în cea paramagnetica, rolul parametrului de ordine îl joacă valoarea medie a proiecţiei momentului magnetic pe axa de magnetizare. În punctul de tranziţie, această mărime devine zero şi rămâne zero după trecerea în starea paramagnetică.

În felul acesta, parametrul de ordine nu face un salt în punctul tranziţiei de fază: o atare tranziţie se numeşte „tranziţie de speţa a II-a”.

După cum vom vedea, restructurarea vidului în câmpuri externe reprezintă şi ea o tranziţie de fază de speţ a II-a. Rolul parametrului de ordine este jucat de mărimea câmpului condensat care apare după restructurare.

Tranziţiile de faza ale vidului

Cum se modifică vidul în prezenţa câmpului extern, adică a unui câmp creat de particule introduse în vid? O restructurare de proporţii reduse are loc chiar şi în câmpuri slabe. Ne va interesa însă acea restructurare a vidului survenită brusc, o dată cu atingerea unei anumite valori critice a câmpului

extern, restructurare care este produsă de posibilitatea generării spontane de particule de un tip determinat.

După cum ştim, în vid apar şi dispar fără întrerupere toate particulele posibile, vidul fiind plin de astfel de particule virtuale.

Se pune însă întrebarea: ce se va întâmpla cu particulele virtuale, dacă în vid apare un câmp intens? Nu devin ele particule reale?

Să admitem că într-o regiune oarecare a spaţiului a luat naştere un câmp intens – electric, gravitaţional sau nuclear (câmp creat de nucleoni). Presupunem că forma câmpului este ca o groapă de potenţial. Cel mai simplu exemplu de groapă de potenţial este o scobitură la suprafaţa Pământului. Când o particulă cade din afară în groapa de potenţial, energia ei cinetică se măreşte, aşa cum creşte cea a unei pietre ce se rostogoleşte de pe un munte.

La marginea superioară a gropii de potenţial din vid se generează şi dispar fără întrerupere toate felurile de particule. Pentru ca o particulă virtuală să devină reală, conform formulei lui Einstein, particulei trebuie să i se transmită o energie egală cu me2, unde în este masa particulei, iar e, viteza luminii. Energia comunicată de câmp particulei prin căderea ei pe fundul gropii poate duce fie la mărirea energiei cinetice a particulei generate, fie la transformarea unei particule virtuale de la marginea de sus a gropii, într-o particulă reală aflată pe fundul gropii.

Ce se va întâmpla dacă adâncimea gropii energetice depăşeşte valoarea me2, adică energia de repaus a particulei? În acest caz, la generarea de particule se va câştiga energie, într-adevăr, pentru a crea o particulă în repaus, trebuie cheltuită o energie egală cu me2, dar energia câştigată prin aruncarea particulei în groapă depăşeşte me2. Prin urmare, în prezenţa unui câmp extern intens, survine o instabilitate: în vid se vor genera şi acumula particule până în momentul în care acestea vor crea un câmp suplimentar, care va face ca generarea în continuare a particulelor să fie neconvenabilă energetic. Condiţiile critice se vor atinge cu atât mai uşor, cu cât masa particulelor generate este mai mică

Dintre particulele încărcate, cea mai mică masă o au electronii. Totuşi, electronii, ca şi toate celelalte particule de spin 1/2 se supun „excluziunii lui Pauli” şi nu se pot acumula în număr mare; în fiecare stare poate exista numai un singur electron.

O restructurare mult mai substanţială a vidului trebuie să aibă loc în acele câmpuri în care este posibilă generarea particulelor cu spin întreg. Principiul excluziunii al lui Pauli, ne mai operând, particulele se pot acumula în starea de cea mai joasă energie într-un număr arbitrar de mare. Numărul maxim de particule este limitat numai de faptul că particulele se resping reciproc. Dintre particulele de acest fel, cea mai mică masă o au mezonii tt. Din acest motiv, câmpul pionic este cel mai interesant. El este studiat pentru cunoaşterea proprietăţilor sale şi pentru clarificarea condiţiilor în care apare instabilitatea pionică a vidului (instabilitate în raport cu generarea câmpului pionic).

O astfel de instabilitate poate apare şi într-un câmp electric suficient de intens. După cum arată calculele, în vecinătatea nucleului cu numărul de protoni Z, instabilitatea pionică survine la valori Z 1 500.

Chiar dacă neglijăm posibilitatea restructurării vidului, nucleele cu o astfel de sarcină ar fi instabile, din cauza imensei respingeri coulombiene a protonilor. Totuşi, calculul energiei câştigate prin restructurarea vidului arată că acest câştig poate depăşi pierderea de energie cauzată de respingerea coulombiană. Ca urmare, aceste nuclee „supraîncărcate" se pot dovedi stabile şi nu este exclus ca ele să fi apărut în procesul evoluţiei Universului. Dacă este aşa, ar trebui încercată găsirea lor în razele cosmice.

Fenomenul cel mai interesant este instabilitatea pionică a vidului, manifestată într-un mediu nuclear (într-un mediu constând din neutroni şi protoni) destul de dens. Întrucât mezonii *te* * interacţionează tare cu nucleonii, mediul nuclear, creează o groapă de potenţial în care, la o densitate suficientă, survine instabilitatea vidului. După cum vom vedea, instabilitatea câmpului pionic în mediul nuclear are un mare număr de consecinţe fizice" importante şi este verificabilă experimental. Să examinăm mai amănunţit acest fenomen.

Condensarea pionică

Groapa efectivă de potenţial pentru pioni creată de materia nucleară cu densitatea n are adâncimea: U nă, unde A este amplitudinea de împrăştiere a pionului pe nucléon (pătratul acestei mărimi determină secţiunea de împrăştiere). Mărimea A indică adâncimea gropii create de un nucléon. Instabilitatea vidului faţă de generarea pionilor apare o dată cu creşterea

densităţii, când adâncimea gropii devine mai mare decât energia de repaus a pionului:

U nă iuttC2

Densitatea critică la care începe restructurarea vidului este:

nve2

ne

A

În realitate, lucrurile nu se petrec chiar atât de simplu. Mai întâi, la impulsuri mici ale pionilor (să ne amintim că impulsul este masa înmulţită cu viteza), amplitudinea deîmprăş-i tiere este unică. Iar instabilitatea apare nu pentru pionii aflaţi în repaus, ci pentru pionii al căror impuls duce la o amplitudine de împrăştiere maximă. Mărimea aproximativă a acestui impuls este m. TeC. Mai mult, la o densitate mare a nucleonilor, în formula simplă de mai sus apar termeni suplimentari, care, până acum, au putut fi calculaţi numai aproximativ. Din acest motiv, densitatea critică nu este cunoscută exact; se poate spune numai că valoarea ei este apropiată de densitatea de echilibru a materiei nucleare (de densitatea, nucleelor atomice). Să notăm această densitate cu n0. În acest fel, ne a n0

Aşadar, într-un mediu nuclear având densitatea mai mare decât ne apare un câmp pionic. Când câmpul devine destul de * intens respingerea dintre pioni micşorează groapa şi procesul se opreşte. Când densitatea materiei nucleare depăşeşte sensibil valoarea critică, adâncimea gropii devine mai mare decât energia de repaus a pionului şi prin condensare se câştigă energie. Energia E” care se eliberează prin condensare este proporţională cu pătratul diferenţei dintre densitatea existentă şi densitatea critică:

E” a (n-nc)2

Acest fenomen se numeşte „condensare pionică”, iar câmpul pionic apărut prin condensare se numeşte „condensat”.

Condensarea pionică poate avea ca efect apariţia nucleelor supradense,

despre care am amintit în introducere şi poate avea multe alte consecinţe fizice.

Deocamdată, asemenea nuclee n-au fost puse în evidenţă, în laboratoarele de fizică ale multor ţări se caută nucleele supradense. Cercetările teoretice consacrate condensării pionice şi consecinţelor acesteia au fost iniţiate în 1971 prin lucrările autorului acestei cărţi şi continuă şi în prezent în multe centre ştiinţifice.

Instabilitatea materiei nudeare la densitate mare

Cea mai importantă urmare posibilă a condensării pionice este instabilitatea materiei nucleare. Să vedem care este cauza fizică a acestei instabilităţi. Să admitem că densitatea critică a nucleonilor, n, corespunzătoare condensării pionice, depăşeşte densitatea de echilibru, r, a materiei nucleare. Atât a timp cât nu există condensare, ènergia materiei nucleare creşte, faţă de valoarea de echilibru, o dată cu mărirea densităţii.

Totuşi, la apariţia condensatului pionic, adică la nnc, se câştigă energie. Dacă la mărirea densităţii acest câştig creşte mai repede decât pierderea de energie prin contracţie, materia nucleară devine instabilă. Cu alte cuvinte, la apariţia condensatului pionic, elasticitatea materiei nucleare scade.

Dacă această mărime ajunge negativă, atunci materia nucleară devine instabilă.

Se poate oare calcula modificarea elasticităţii materiei nucleare la apariţia condensării şi stabili în acest fel dacă este posibilă existenţa unei stări de echilibru cu densitatea mai mare a nucleelor? Din păcate, în calcule intră mărimi insuficient cunoscute în momentul de faţă, privitoare la interacţiunea nucleonilor şi a mezonilor n în materia nucleară. Estimările preliminare pledează în favoarea faptului că, simultan cu apariţia condensării, se produce şi instabilitatea materiei nucleare. Dacă aceste estimări vor fi confirmate de evoluţia teoriei şi a experimentului, atunci materia nucleară trebuie să devină instabilă chiar la densităţi apropiate de densitatea materiei nucleare din nucleele atomice.

Această instabilitate poate însemna că, alături de starea obişnuită a materiei nucleare din nucleele atomice, există încă una (sau mai multe) neobişnuită, stabilă, cu densitate mare. Cu alte cuvinte, este posibilă existenţa nucleelor anomale.

Dar în nucleele obişnuite nu există oare condensat pionic? Din calcule rezultă valori insuficient de precise ale mărimilor care ne interesează. Între altele, ipiprecizia calculului densităţii critice ne permite ambele valori: densitatea critică, ne, poate fi la fel de bine mai mare, sau mai mică decât densitatea nucleară de echilibru, n0. Dacă densitatea critică nen0, atunci condensatul pionic trebuie să existe în nucleele obişnuite.

Prezenţa condensatului pionic în nucleele obişnuite ar avea un număr mare de consecinţe fizice neobişnuite, care s-ar putea determina experimental. Aşa după cum o arată calculele, câmpul condensat din materia nucleară trebuie să se modifice periodic în spaţiu. Aceste modificări periodice se transmit nucleonilor şi duc la o structură periodică a densităţii neutronilor şi protonilor. Structura periodică a densităţii protonilor (a densităţii sarcinii), ar putea să se pună în evidenţă prin împrăştierea electronilor pe nuclee, sau să influenţeze proprietăţile rotaţionale ale nucleelor. Procesele de împrăştiere care nu au loc în materia nucleară omogenă sunt deosebit de sensibile faţă de existenţa structurii periodice. După cât se pare, experimentele de acest fel arată că în nuclee nu există condensat pionic, adică nenc. Totuşi, multe fenomene nucleare pot fi explicate numai prin. Condiţii apropiate de condensarea pionică.

Gradul de libertate pionic în punctul critic, energia necesară generării pionului devine egală cu zero. În cazul în care densitatea se apropie, dar rămâne mai mică în valoare decât densitatea critică, nu există condensat. În acest caz, pentru transformarea unui pion virtual aflat în nucleu într-un pion real, trebuie totuşi o energie mult mai mică decât energia necesară pentru generarea unui pion în vid. Desigur, pionul din groapă nu este nici el unul real; ca atare, el se numeşte „excitaţie cu numerele cuantice ale pionului”. În apropierea punctului critic, aceste excitaţii au energie mică, din care cauză ele sunt denumite în jargonul fizicienilor, „excitaţii moi”.

Astfel, valorile apropiate ale densităţilor nucleară şi critică se manifestă prin apariţia în nucleu a unui grad „moale” de libertate – corespunzător unor excitaţii amintind de mezonul pi, dar cu energie scăzută (gradul pionic de libertate). Interacţiunile dintre nucleonii din nucleu se modifică puternic datorită posibilităţii de a „schimba” între ei asemenea pioni „moi”. Apare astfel un nou mecanism de interacţiune al nucleonilor: un nucléon emite un pion moale, altul îl absoarbe. Schimbul de pioni moi înlocuieşte interacţiunea

care are loc în vid pe seama schimbului de pioni obişnuiţi „rigizi”. Ca urmare, poziţia unor nivele ale nucleului se modifică în mod substanţial. Calculul poziţiei nivelelor, cu luarea în considerare a „gradului de libertate pionic” este în bună concordanţă cu experimentul şi confirmă totodată corectitudinea valorilor adoptate pentru constantele care intervin în calcule. Calculele permit să se conchidă că nucleele sunt într-o stare foarte apropiată de condensarea pionică. Până şi astfel de mărimi, cum ar fi energia de legătură a nucleului, asupra căreia gradul pionic de libertate are doar o influenţă indirectă, nu pot fi calculate exact fără a-l lua în considerare. Gradul de libertate pionic reprezintă un element necesar al calculelor efectuate în zilele noastre în domeniul nuclear. După verificarea experimentală a unei teorii, multe lucruri trebuie schimbate. În jargonul fizicienilor, partea care, rezistând verificărilor, rămâne până la urmă, se numeşte „reziduu solid”. Chiar dacă predicţiunea privitoare la stările anomale ale materiei nucleare nu se va confirma experimental, descoperirea graj dului pionic de libertate va rămâne ca un „reziduu solidal teoriei»

Posibilitatea existenţei nucleelor supradense şi neutronice

Aşa cum am văzut, materia nucleară omogenă devine, pare-se, instabilă la densităţi nnc şi urmează să se comprime. Această concluzie trebuie considerată destul de verosimilă, întrucât se menţine chiar şi atunci când constantele teoriei variază între limite largi. Totuşi, de aici încă nu rezultă neapărat că nucleele supradense există. Pentru stabilitatea lor se impune îndeplinirea unei serii de condiţii. În primul rând, energia unui astfel de nucleu trebuie să fie mai mică decât suma energiilor de repaus ale neutronilor şi protonilor, altfel, nucleul se descompune în particule separate, în plus, nucleul trebuie să fie stabil în ceea ce priveşte fisiunea, adică nu trebuie să se desfacă în două sau mai multe părţi. Şi, în sfârşit, pentru ca nucleele anomale să poată fi identificate în razele cosmice, ele trebuie să trăiască destul timp pentru a străbate distanţele cosmice, adică trebuie să fie stabile în ceea ce priveşte dezintegrarea ß. Pentru formularea cantitativă a condiţiilor de mai sus, este necesar să se ştie cum se modifică energia nucleului de la densităţi mici ale nucleonilor, n – n0, până la densităţi la care se aşteaptă nuclee anomale stabile (după cum arată calculul, această densitate este de 3-6 ori mai mare faţă de n0)…

Energia nucleului se compune din energia proprie a nucleonilor şi din energia câştigată prin formarea condensatul lui. Întrucât la densitatea n n0 ne, energia proprie a nucleonilor este minimă, atunci, la n ea va creşte o dată cu n. Dar energia eliberată prin condensarea pionică compensează, parţial sau total, creşterea energiei nucleonilor.

Energia nucleului, scăzută din suma energiilor de repaus ale nucleonilor, poate avea, în funcţie de valoarea densităţii, două minimumuri. Primul dintre ele corespunde nucleelor obişnuite. Al doilea, dacă el există la energii negative, corespunde nucleelor anomale. Nucleele supradense pot fi stabile atât la N Z, cât şi la N Z („nuclee neutronice-). Calculul arată că, asumând valori acceptabile ale constantelor de interacţiune, nucleele neutronice pot fi stabile faţă de fisiune şi dezintegrarea ß. În funcţie de modul în care se aleg unii parametri insuficient cunoscuţi ai interacţiunii nucleon-nucleon, al doilea minimum poate lipsi, se poate afla sub zero, ceea ce corespunde nucleelor supradense stabile, sau se poate afla deasupra lui zero şi atunci sistemul se risipeşte în nucleoni izolaţi.

Trebuie remarcat că problema calculării energiei nucleonilor şi a energiei eliberate prin condensare la densităţi mari este foarte complicată. Rezolvarea ei a devenit posibilă numai de curând, prin eforturile fizicienilor teoreticieni din Uniunea Sovietică şi din străinătate. Deocamdată s-au obţinut numai rezultate foarte aproximative, iar la imprecizia în alegerea parametrilor interacţiunii se adaugă şi lipsa de precizie a teoriei însăşi.

Din această cauză, nu se poate trage o concluzie privitoare la existenţa nucleelor anomale; se poate spune numai că existenţa lor este destul de verosimilă ca să se întreprindă cele mai mari eforturi pentrü demonstrarea sau respingerea acestei ipoteze.

Caile posibile pentru descoperirea nucleelor anomale

Dacă nucleele supradense există şi au o energie de legătură mai mare decât nucleele normale, acestea din urmă trebuie să treacă în starea supradensă. În afară de aceasta, dacă în natură nucleele anomale s-ar găsi laolaltă cu nucleele obişnuite, primele s-ar putea observa cu ajutorul energiei mari a cuantelor emise la captura neutronilor. Până acum, experienţele de aceste fel au dat un rezultat negativ.

Prezintă interes căutarea nucleelor anomale stabile sau ß-active cu

existenţă efemeră în produsele de fisiune ale nucleelor obişnuite.

Este posibil ca nucleele supradense să se formeze prin ciocnirea ionilor grei având energia de ordinul câtorva sute de MeV pe nucléon. Unda de şoc astfel apărută poate provoca o creştere a densităţii materiei nucleare. Dacă în acest caz densitatea depăşeşte valoarea critică ne, atunci începe formarea fazei supradense. Independent de faptul dacă există sau nu nuclee supradense stabile, condensarea pionică trebuie să influenţeze substanţial dinamica ciocnirii.

Se speră că, nucleele anomale se pot găsi în razele cosmice. Sunt interesante şi cercetările pentru descoperirea nucleelor supradense de origine cosmică, acumulate în intervale de timp cosmologice în straturile superficiale ale solului lunar şi în meteoriţi.

În sfârşit, eventualitatea apariţiei materiei supradense ca rezultat al condensării pionice exercită o influenţă hotă râtoare asupra evoluţiei stelelor neutronice la densităţi de păşind densitatea nucleară. Vom discuta acest subiect în secţiunea următoare.

Uneori, faptul experimental se descoperă primul, impulsionând astfel teoria. Alteori, teoria a apărut mai întâi şi a impus o verificare experimentală. Este greu de apreciat care dintre cele două situaţii a fost mai frecvent întâlnită în istoria fizicii. Experimentul şi teoria se stimulează în mod permanent. În cazul în care consecinţele teoriei expuse aici se vor confirma experimental, se va face un pas însemnat în înţelegerea naturii. Dacă teoria va fi infirmată, ea îşi va păstra totuşi valoarea metodologică şi va servi drept fundament pentru teorii mai reuşite. Ca întotdeauna, experimentul are ultimul cuvânt.

Soarta stelelor neutronice

Necunoaşterea naturii constituie cea mai mare nerecunoştinţa.
Pliniu cel Bătrân

Voi încerca să vă relatez despre exploziile uriaşe ale stelelor şi despre stelele compuse din neutroni. Teoria prevede că în astfel de stele poate avea loc o transformare încă nedescoperită experimental – formarea materiei

nucleare mult mai dense decât materia nucleelor atomice (iar densitatea nucleelor atomice este de circa IO14 g/cm3).

Pentru a înţelege aceste fenomene, va trebui să ne referim la multe domenii ale fizicii. Aici astronomia şi teoria gravitaţiei se împletesc cu fizica particulelor elementare şi cu fizica nucleară.

Mai strălucitor decât o sută de miliarde de sori încă din vechime, astronomii au observat că din timp în timp şi pe neaşteptate, pe cer se aprind stele extrem de strălucitoare. O asemenea explozie a fost remarcată, de exemplu, de astronomii chinezi în 1054, în nebuloasa Crabului, care intră în alcătuirea Galaxiei noastre. Acum „exploziile supernovelor" sunt bine studiate şi au fost observate nu numai în Galaxia noastră, ci şi în alte aglomerări stelare. În câteva luni, o supernovă emite tot atât a lumină cât emite o galaxie întreagă, în care sunt înglobate sute de miliarde stele. După intensitatea şi durata radiaţiei, s-a putut stabili că energia totală emisă de o explozie de supernovă reprezintă circa IO43 – IO45 Joule. În acelaşi timp, energia termică a stelei este de o mie de ori mai mică. Şi energia care s-ar fi putut elibera prin transformări chimice este mult mai mică. De unde provine atunci energia imensă a supernovei? Răspunsul s-a lăsat aşteptat multă vreme. Speranţele de a explica exploziile supernovelor s-au conturat numai după descoperirea reacţiilor nucleare, care eliberează o energie de milioane de ori mai mare decât reacţiile chimice.

Reacţiile nucleare care au loc în interiorul stelei puteau constitui deci sursa de energie a supernovei. Există însă o sursă şi mai puternică; energia gravitaţională a stelei. Totuşi, eliberarea acestei energii este posibilă numai prin intermediul transformărilor nucleare. Dacă în timpul reacţiilor nucleare densitatea părţii centrale a stelei se măreşte, atunci, sub influenţa forţelor de gravitaţie, materia regiunilor externe începe să cadă spre centru, dobândind energie cinetică. Cu alte cuvinte, energia potenţială a gravitaţiei se transformă în energie cinetică a materiei stelare.

Densitatea stelei este determinată de echilibrul dintre forţa de greutate şi forţa de presiune a materiei stelare. Pentru ca steaua să se contracte, presiunea trebuie să scadă. O scădere foarte puternică a presiunii ar putea avea loc numai la formarea unei stele neutronice, când protonii şi electronii se transformă în neutroni. Vom încerca să explicăm acest fenomen.

Presiunea este proporţională cu energia cinetică a particulelor din care

este compusă materia. La scăderea temperaturii, energia cinetică a particulelor scade şi din acest motiv presiunea scade şi ea. Totuşi, până şi la temperatura de zero absolut, energia cinetică a particulelor este diferită de zero. Neutronii, protonii şi electronii se supun principiului de excluziune al lui Pauli, conform căruia, două particule identice cu spinul 1/2 nu pot să se găsească într-una şi aceeaşi stare. Din acest motiv, chiar şi la zero absolut, particulele nu sunt în repaus şi au viteze diferite – sau, după cum se spune, sunt împrăştiate după viteze. Particulele cele mai uşoare au vitezele cele mai mari. Astfel, contribuţia cea mai mare la presiunea dintr-o stea o au electronii, a căror masă este de aproximativ două mii de ori mai mică decât masa protonului sau a neutronului. Nu este de mirare că forţa de greutate comprimă materia nucleară până la o densitate mult mai mare decât materia obişnuită, formată din nuclee atomice şi electroni. În acest caz, particulele uşoare sunt substituite cu particulele grele şi densitatea scade brusc.

Dacă în urma transformărilor nucleare steaua ar putea deveni o stea neutronică, acest fapt ar duce la o comprimare bruscă a stelei şi la eliberarea unei energii imense într-un timp scurt. Este această energie suficientă pentru explicarea exploziei supernovei? Întrebarea rămâne deocamdată fără răspuns. La o comprimare atât de bruscă a stelei, trebuie să apară unde. Elastice extrem de puternice, pornind din centru. Sub acţiunea lor, partea exterioară a stelei ar putea fi expulzată, transformându-se în gaz fierbinte, care circulă cu o viteză imensă. Luminozitatea acestui gaz ar explica şi durata exploziilor supernovei.

Astfel, exploziile supernovei au încetat să mai pară fenomene misterioase; se crede că ele sunt urmări ale comprimării stelelor în decursul transformărilor nucleare.

Dar de la intuiţie şi până la afirmaţia bine demonstrată trebuie parcurs un drum lung, plin de îndoieli şi demonstraţii.

În 1932, James Chadwick a descoperit neutronul. Abia după doi ani, astronomii Karl Baade şi Walter Zwicky au avansat presupunerea. Că exploziile supernovelor se produc în procesul naşterii unei stele neutronice. Pentru confirmarea sau respingerea acestei ipoteze, trebuiau studiate proprietăţile materiei neutronice şi clarificat dacă noul tip de materie se putea forma în interiorul stelei. Pentru aceasta însă a fost nevoie de circa treizeci de ani de cercetări teoretice şi experimentări asupra materiei nucleare. Ce s-a

aflat în urma acestor cercetări?

Fluidul neutronic în 1937, L.D. Landau a emis ideea că o stea cu o masă suficient de mare trebuie să fie formată din materie neutronică. Pentru a se forma o materie neutronică, nucleele atomice şi electronii trebuie să se transforme în neutroni. Să presupunem că steaua este compusă din oxigen. Nucleul unui atom de oxigen conţine opt neutroni şi opt protoni. Cei opt protoni şi cei opt electroni care înconjoară nucleul atomului de oxigen trebuie să se transforme în opt neutroni. Această reacţie nu este convenabilă energetic, întrucât la formarea fiecărui neutron trebuie cheltuite câteva milioane de electron-volţi. Dacă masa stelei este destul de mare, procesul de formare a unui excedent de neutroni este favorizat de energia eliberată prin comprimarea stelei. În 1937, Landau a arătat că transformarea oxigenului în materie neutronică devine energetic posibilă începând de la o masă stelară egală cü o mică fracţiune din masa Soarelui. Totuşi, o asemenea transformare nu se poate produce dintr-o dată, ci numai printr-un lanţ întreg de reacţii nucleare; fiecare dintre aceste reacţii necesită o cheltuială relativ nu prea mare de energie, care este preluată din energia mişcării termice a particulelor stelei.

Pentru a se demonstra convingător posibilitatea formării stelei neutronice, erau necesare informaţii suplimentare despre reacţiile nucleare şi mai ales despre proprietăţile materiei neutronice. Aceste informaţii au fost obţinute prin analiza proprietăţilor nucleelor atomice, din experimentele de împrăştiere a neutronilor şi protonilor pe nuclee. De exemplu, s-a constatat că, la distanţe mici, atracţia dintre nucleoni (neutroni şi protoni) se schimbă în respingere, ceea ce îngreunează comprimarea materiei nucleare până la o densitate care depăşeşte de câteva ori densitatea nucleară. Unële dintre nivelele energetice ale nucleului sunt legate de rotaţia lui în jurul axei proprii. Măsurând energia liniilor spectrale emise prin tranziţiile dintre aceste nivele, se pot determina momentele de inerţie ale nucleelor.

Momentele de inerţie s-au dovedit a fi sensibil mai mici decât ar fi trebuit să fie în cazul unei bile cu aceeaşi rază şi cu aceeaşi densitate ca nucleul. Deci, la rotaţie nu ia parte toată materia din nucleu. Prin urmare, părţi separate ale nucleului se pot mişca fără frecare una faţă de cealaltă – altfel, în mod obligatoriu, toată masa nucleului s-ar fi rotit ca un întreg. Analiza teoretică a datelor privitoare la momentele de inerţie ale nucleelor au

permis în 1959 autorului acestei cărţi sa afirme că materia neutronică aflată la densitate nucleară trebuie să fie suprafluidă, adică să se mişte fără frecare până la temperaturi T-1010 K (grade Kelvin).

Aşadar, fizicienii au ajuns la concluzia că la presiuni mari, din materia obişnuită trebuie să se formeze o materie neutronică suprafluidă, care se va comprima în stele până la densităţi nucleare. Totuşi, toate concluziile despre proprietăţile materiei neutronice constituiau un joc abstract al intelectului, atâta timp cât existenţa însăşi a stelelor neutronice rămânea numai o presupunere verosimilă. Aceasta a fost situaţia până în 1968.

Descoperirea pulsar Hor în 1968, un grup de astronomi de la Cambridge a descoperit o stea cu radiaţia emisă în pulsuri – un pulsar. După numai un an, multe observatoare de pe glob identificaseră zeci de pulsari. Descoperirile au devenit posibile datorită dezvoltării radioastronomici, permiţând observarea de obiecte cu luminozitatea de IO10 ori mai mică decât cea a stelelor vizibile cu telescoapele optice.

Pulsarii sunt stele care emit strict periodic, impulsuri radio cu durata de 10 30(jis, şi cu perioada de ordinul a IO-2 – Îs. Periodicitatea extrem de strictă a radiaţiei, împreună cu forma complicată a impulsurilor i-au făcut pe astronomii care au descoperit primul pulsar să se gândească la semnalele unei civilizaţii extraterestre. Totuşi, după ce s-au descoperit zeci de pulsari în diferite regiuni ale Universului, această idee a căzut de la sine. Într-adevăr, apariţia vieţii este un eveniment cu probabilitate extrem de redusă, iar Universul nu poate fi atât de dens populat. În plus, presupunerea că toţi extraterestrii ar da de ştire în acelaşi mod despre existenţa lor este pur şi simplu absurdă. Cum se explică atunci periodicitatea surprinzător de exactă a impulsurilor radio a pulsarilor?

Analiza detaliată a tuturor tipurilor de mişcări periodice i-a condus pe astrofizicieni la o concluzie univocă: perioada pulsarului corespunde perioadei de rotaţie a stelei în jurul axei proprii.

Prin urmare, pulsarul este o stea care se roteşte cu o viteză uriaşă: milioane de rotaţii într-o zi terestră. Vom vedea imediat că acest fapt are o consecinţă de cea mai mare importanţă.

Pulsarii sunt stele neutronice

Pentru ca la o rotaţie atât de rapidă materia stelei să nu se împrăştie,

forţa de greutate de la suprafaţă trebuie să depăşească forţa centrifugă, ceea ce este posibil numai pentru o densitate stelară foarte mare. Un calcul' simplu arată că un pulsar cu perioada de rotaţie de 0,1 s trebuie să aibă densitatea mai mare decât 1010 g/cm3. Materia obişnuită nu se poate comprima până la o astfel de densitate imensă, ci numai materia neutronică. Aceasta, la mase cât masa Soarelui şi comprimată până la densitatea nucleară, se poate roti cu viteza unghiulară a pulsarului, fără să se împrăştie.

Fizicienii au ajuns, aşadar, la concluzia că pulsarti sunt tocmai stele neutronice a căror existenţă a prevăzut-o Landau.

S-a confirmat şi predicţiunea privitoare la suprafluiditatea materiei stelelçr neutronice. S-a descoperit că în anumite cazuri, perioada pulsarului se micşorează brusc. Acest fenomen a fost numit „pauză". Micşorarea perioadei poate fi explicată în mod firesc printr-un cutremur stelar. Dacă la fiecare cutremur steaua devine mai puţin turtită, atunci momentul ei de inerţie se micşorează; totodată, se micşorează şi perioada de rotaţie.

Totuşi, după începutul „pauzei", când cutremurul stelar s-a terminat, perioada continuă să se micşoreze încă un timp îndelungat: uneori, câteva zile, alteori câţiva ani. Modificarea atât de persistentă a perioadei se poate explica numai presupus nând că, după ce partea exterioară a stelei, formată din materie obişnuită, şi-a accelerat mişcarea, miezul neutronic îşi mai continuă rotaţia cu viteza precedentă. Numai după un timp ceva mai îndelungat vitezele se egalează. Dar aceasta înseamnă că miezul neutronic se află în stare suprafluidă! Căci, în cazul frecării obişnuite, vitezele s-ar fi egalat în câteva secunde.

Formarea stelelor neutronice este oare legată de explozia supernovelor, aşa cum au presupus Baade şi Zwicky?

Unii pulsari sunt într-adevăr situaţi acolo unde au avut loc explozii de supernove, cum ar fi pulsarul din nebulozitatea Crabului. Dar, în majoritatea cazurilor, o astfel de legătură nu există.

Aceasta înseamnă că uneori stelele neutronice apar fără să provină din supernove, dimpotrivă, unele explozii survin în urma reacţiilor nucleare care nu duc la apariţia de stele neutronice cu radiaţii de pulsar, sau, poate, supernovele apar după explozia unei stele neutronice. Dar, despre aceste fenomene vom vorbi ceva mai încolo.

Acum putem să ne ocupăm de istoria stelei neutronice a cărei masă

creşte. Masa stelei poate creşte din cauza căderii unor corpuri cereşti atrase gravitaţional şi din cauza unui flux de materie provenit de la stelele vecine cu masa mai mică. Prin creşterea masei, densitatea din centrul stelei se măreşte.

După cum vom vedea, la o densitate suficient de mare, fluidul neutronic trece brusc într-o stare nouă, supradensă. Atunci se degajă o cantitate imensă de energie, iar steaua explodează. Cauza tranziţiei este instabilitatea vidului în câmpuri intense, fenomen despre care ne-am ocupat în secţiunea precedentă. La o densitate mare a materiei, apare condensatul pionic.

Dar în ce fel sunt legate între ele condensarea pionică şi soarta stelelor neutronice de care ne interesăm aici?

Condensarea pionică şi fluidul neutronic

Când densitatea din centrul stelei neutronice atinge valoarea critică ne, corespunzătoare condensării pionice, în soarta stelei trebuie să se producă o cotitură dramatică. La început, în centrul stelei apare un nou germene: starea supradensă a materiei neutronice. O asemenea configuraţie se dovedeşte a fi instabilă: pe măsura creşterii razei noii stări, se eliberează energie gravitaţională. În stare de echilibru, o parte însemnată a stelei trebuie să devină supradensă. Din acest motiv, germenele supradens începe să crească, iar materia din părţile exterioare ale stelei se îndreaptă cu mare viteză spre marginile germenelui supradens. Aproape de momentul în care raza germenelui supradens atinge mărimea corespunzătoare stării de echilibru, materia părţilor exterioare continuă să se mişte în virtutea inerţiei, iar raza miezului depăşeştă valoarea sa de echilibru. Întrucât echilibrul este încălcat, începe mişcarea inversă. Astfel, raza germenelui supradens mai întâi creşte brusc, după care oscilează în jurul valorii comparabile cu razei stelei neutronice. Procesul de formare al stelei supradense durează miimi de secundă. În acest timp se eliberează o énergie de câteva ori mai mare decât energia degajată la formarea unei stele neutronice. Se poate întâmpla ca sub acţiunea undelor elastice apărute în timpul oscilaţiilor razei miezului supradens, partea exterioară a stelei să fie expulzată într-o stare foarte fierbinte, iar tabloul exploziei să amintească pe cel al unei supernove.

Aşadar, în afară de exploziile provocate de reacţiile nucleare care preced formarea unei stele neutronice, sunt posibile şi explozii de altă natură, apărute ca rezultat al condensării pionice după explozia stelei neutronice.

Care sunt consecinţele posibile ale exploziei stelei neutro nice?

Găurile negre în cazul în care concluzia privind explozia stelei neutron nice provocată de condensarea pionică va fi convingător demonstrată teoretic sau validată prin observaţii, acesta va însemna că stelele neutronice nu pot avea o densitate care să depăşească valoarea critică ne. (După cum o arată calculele, densitatea ne are acelaşi ordin de mărime ca densitatea nucleară). Or, este principial important să se ştie dacă există stele cu o densitate sensibil mai mare decât densitatea nucleară.

Conform teoriei generale a relativităţii, la o masă a stelei de 2-3 ori mai mare decât masa Soarelui, apare instabilitatea gravitaţională, steaua începe să se comprime şi, după ce raza ei devine mai mică decât o anumită valoare critică (numită rază gravitaţională), niciun fel de forţe de respingere nu mai pot reţine materia de la căderea spre centru, întrucât presiunea de contracţie depăşeşte presiunea de respingere a particulelor de materie.

Fenomenul se numeşte colapsul stelei şi sfârşeşte prin formarea unui nou obiect – gaura neagră.

Gaura neagră se manifestă practic numai ca o sursă de câmp gravitaţional. Corpul care nimereşte în câmpul gravitaţional cade spre centrul găurii negre şi încetează să mai fie vizibil. Oricare ar fi energia particulei, ea nu se poate smulge din gaura neagră, întrucât, conform teoriei lui Einstein, o dată cu creşterea energiei particulei, creşte şi masa ei şis, prin urmare, creşte şi forţa de atracţie spre gaura neagră. Dintr-o gaură neagră nu numai că nu se poate lansa o navă cosmică, dar nu se pot emite niciun fel de semnale luminoase.

În sistemele stelare duble, materia stelei uşoare curge spre steaua cea mai grea. Analiza radiaţiei curentului de materie permite să se bănuiască în câteva cazuri că partenerul greu este de fapt o gaură neagră…

Dar dacă s-ar fi dovedit că în urma exploziei provocate de condensarea pionică stelele neutronice încep să-şi împrăştie materia chiar din momentul în care ajung la densităţi nucleare, atunci găurile negre nu s-ar fi putut forma niciodată.

Un alt fenomen care trezeşte interesul faţă de materia supradensă este apariţia unei noi stări – materia de quarci, fenomen care poate avea loc atunci când materia neutronică atinge o densitate suficient de mare.

Stele alcătuite din quarci

Să ne amintim afirmaţiile din „Istoria unei simetrii-» Toate particulele elementare care interacţionează tare – particulele de acest fel de numesc hadroni – sunt formate din câteva tipuri de quarci, care au sarcini electrice fracţionare, egale cu – 1/3 sau 2/3 din sarcina electronului. Neutronul şi protonul (care sunt hadroni) sunt formaţi din trei quarci, iar mezonul pi, dintr-un quark şi un antiquark. După cum se pare, quarcii nu există în stare liberă. Până acum, toate încercările de a descoperi un quark izolat nu au dat rezultate, în schimb, la distanţe mici între quarci, proprietăţile lor sunt atât de bine studiate, încât în momentul de faţă majori tatea fizicienilor n-are dubii în privinţa existenţei acestor particule. Din analiza experimentelor de împrăştiere a hadronilor pe hadroni s-a reuşit să se stabilească faptul că la distanţe mici interacţiunea quarcilor se micşorează.

Acest. Fenomen a fost denumit libertate asimptotică.

Când se ciocnesc doi hadroni cu energie mare, quarcii conţinuţi se aceştia nu se împrăştie, ci se transformă în alţi nucleoni sau mezoni pi.

Pentru a înţelege mai bine ce este hadronul, îl putem re prezenta ca pe un fel de sac în care quarcii se mişcă liber, dar din care nu pot ieşi. Dacă apropiem între ei doi nucleoni la o distanţă mai mică decât dimensiunile sacului, se obţine un singur sac comun în care se vor afla şase quarci.

La o densitate mare a materiei neutronice, când distanţa dintre neutroni devine comparabilă cu raza sacului, neutronii se descompun în particulele lor componente, iar materia neutronică se transformă în materie de quarci. După cum arată calculele, steaua devine o stea de quarci când densitatea ei este de 10-20 de ori mai mare decât cea nucleară. În cursul acestei tranziţii se eliberează energie şi poate avea loc încă o explozie a stelei.

Se realizează oare în natură starea de quark a stelei? Sau începând încă de la densitatea nucleară materia nucleară explodează şi se împrăştie? Este posibilă totuşi formarea găurilor negre? Până şi faptul că putem să ne punem astfel de întrebări arată cât de mult am avansat în înţelegerea structurii stelelor neutronice.

Fiecare dintre noi percepe diferit frumuseţea Universului. Am reuşit oare să adaug nuanţe noi în imaginea dumneavoastră despre lume?

*

* *

Acum, când cartea s-a citit, să privim înapoi, şi să tragem concluziile.

Fundamentul activităţii din orice domeniu al ştiinţei îl constituie metoda ştiinţifică de cunoaştere. Nu este vorba numai despre totalitatea procedeelor tehnice, cum sunt gamele pentru muzicieni, ci şi despre ceea ce în muzică se numeşte teoria armoniei, adică fundamentul concepţiei despre lume a omului de ştiinţă. Metoda ştiinţifică permite să se separe verosimilul de imposibil, şi să se facă distincţie între intuiţia cea mai frumoasă şi mai verosimilă şi afirmaţia demonstrată.

Cel mai important mijloc prin care se dobândeşte adevărul ştiinţific este experimentul. Experimentul stabileşte faptele. Dar o colecţie de fapte trebuie transformată într-un sistem solid de reprezentări, într-o teorie care oferă posibilitatea prevederii de noi fenomene. Şi aici rolul de frunte îl joacă intuiţia şi bunul simţ.

Aşa după cum alpinistului îi sunt necesare nu numai stăr pânirea tehnicii de escaladare, nu numai pregătirea fizică reşpectivă, ci şi excelente calităţi psihice, şi omului de ştiinţă îi sunt necesare stăpânirea ireproşabilă a metodei ştiinţifice şi autoeducarea pentru o muncă plină de abnegaţie.

Curiozitatea, dorinţa de a afla cum este alcătuită natura, capacitatea de a te uimi, de a te bucura de orice descoperire, aptitudinea de a recepta frumuseţea – iată calităţile care trebuie să determine alegerea unei profesii ştiinţifice.

Celor care s-au decis să se dedice ştiinţei, li se dezvăluie ca o răsplată uimitoarea armonie şi frumuseţe a naturii, alt-, fel ascunsă celei mai agere priviri. Din fenomene disparate se naşte imaginea unitară a Universului.

Toate aceste, remarci sunt valabile pentru oricare dintre ştiinţele experimentale: fizica, chimia, biologia, astronomia… Ce este însă fizica teoretică şi cum lucrează fizicienii teoreticieni? Ei studiază natura cu creionul şi hârtia, deducând noi relaţii între mărimile observabile, bazându-se pe legile naturii, stabilite anterior experimental şi teoretic. Scopul fizicii teoretice este să realizeze un tablou cât mai exact posibil al lumii, folosind toate faptele experimentale şi teoretice cunoscute, precum şi ideile bazate pe intuiţie, care vor fi în perspectivă verificate de experiment. Am urmărit împreună drumul teoreticienilor, alegând exemplul istoriei apariţiei şi dezvoltării teoriei

cuantice, – care ilustrează drumul greu de la intuiţia vagă la adevărul ştiinţific.

Procedeele tehnice concrete ale teoreticianului încep cu analiza calitativă, când aproape fără calcule, se obţin relaţii aproximative între mărimi, se clarifică tabloul fizic al fenomenului şi se conturează proiectul soluţiei. Apoi, cu ajutorul aparatului matematic al teoriei, se obţin relaţiile cantitative.

Trecând la tainele structurii Universului, se poate vedea că obiecte ale cercetării de fizică aparent depărtate unele de altele – vidul, nucleele, stelele – sunt de fapt strâns legate între ele. Toate domeniile fizicii se împletesc într-un singur mănunchi şi constituie o realizare concretă a principiului' unităţii naturii.

Atunci când înveţi o limbă străină, după o toceală îndelungată a cazurilor şi a formelor gramaticale, după ce ai impresia, că nu înţelegi nimic, survine deodată clipa minunată a clarviziunii şi cuvintele necunoscute se transformă într-un sonet de Shakespeare, într-o comedie de Molière sau în rânduri ale lui Cervantes. Aceeaşi minune îi aşteaptă şi pe cei care învaţă limbajul Naturii. După îndoieli, după greşeli, după căutări, după nenumărate enigme, ni se deschide, plină de minuni, infinit de frumoasă, o lume nouă.

Indice terminologic

Acceleraţia Coriofis – acceleraţie care apare la trecerea în sistemul de coordonate care se roteşte o dată cu Pământ ul. Antineutrino – antiparticula neutrinului, care se deosebeşte de acesta din urmă prin semnul sarcinii leptonice şi prin spiralitate.

Antiparticule – se deosebesc de particulele corespunzătoare prin semnul sarcinii electrice, al momentului magnetic, al sarcinii barionice sau leptonice şi prin stranietate (sau, de exemplu, în cazul quarkului cu farmec, prin semnul farmecului).

Aromele quarcilor – tipurile de quarci. Există şase arome: sus, jos, straniu, farmec, frumuseţe şi vârf, ultimul încă nedovedit experimental.

Barioni – particule care interacţionează tare şi care au spinul semiîntreg.

Catastrofa Rayleigh-leans – paradox fizic – aplicarea fizicii statistice la undele electromagnetice staţionare într-o cutie duce la o energie infinită a

undelor. Rezolvarea paradoxului l-a dus pe M. Planck (1900) la ideea modificării în salţuri a energiei oscilatorilor care emit unde electromagnetice. Astfel a apărut mărimea h – constanta lui Planck.

Câmp gluonic – câmpul care realizează interacţiunea dintre quarci şi care îi menţine în interiorul hadronilor. Câmpuri Fermi – câmpuri care descriu particule cu spinul 1/2.

Colapsul unei stele – comprimarea catastrofal de bruscă a stelei sub acţiunea forţelor gravitaţionale.

Condensare pionică – restructurarea vidului sub influenţa câmpului electric sau în thediul nuclear cu formarea câmpului pionic suplimentar, a „condensatului”.

Constanta lui Boltzmann – constanta k, egală cu raportul dintre constanta universală a gazelor B. Şi numărul lui Avogadro, N, având valoarea k 1,38 x IO-23 J/K (L. Boltzmann, 1872).

Constanta lui Planck – constanta fundamentală a teoriei cuantice. Determină porţiile posibile de energie ale oscilatorului cu frecventa co i: E (n-f-l/2) heo, (h 1,055 IO” 27 erg-s).

Constanta structurii fine – determină interacţiunea sarcinilor electrice cu fotonii; a» e2/he 1/137. Cromodinamâcă – teoria care descrie dinamica gluonilor şi quarcilor în interacţiune. Cuantă – porţia de energie a câmpului electromagnetic. Cuanta gama – foton de mare energie. Apare la tranziţiile cuantice din nucleele atomice şi în reacţiile particulelor elementare.

Cuantificarea rotaţiei – aplicarea mecanicii cuantice la corpul în rotaţie are drept consecinţă faptul că momentul cinetic şi proiecţia acestuia pe o axă oarecare se schimbă în porţii discrete, egale cu h. Culoare – număr cuantic care caracterizează starea unui quark din punctul de vedere al ero mo – dinamicii.

Dezintegrarea alfa – dezintegrare radioactivă a nucleelor atomice, cu emiterea unei particule alfa, în urma căreia sarcina nucleului se micşorează cu 2 unităţi, iar numărul de masă, cu 4 unităţi.

Dezintegrarea beta – transformare radioactivă a nucleelor însoţită de emisia unui electron şi a unui antineutrino, sau a unui pozitron şi a unui neutrino.

Difracţie – devierea razelor de lumina la trecerea pe lângă un obstacol, condiţionată de natura ondulatorie a luminii.

Dimensiune – expresie care stabileşte legătura mărimii fizice cu mărimile care constituie baza sistemului de unităţi. Astfel, dimensiunea vitezei este lungimea împărţită la timp. Arată cum se schimbă mărimea la schimbarea sistemului de unităţi. Independenţa legilor fizice faţă de alegerea unităţilor de măsură se manifestă prin aceea că în fizică toţi termenii ecuaţiilor au aceeaşi dimensiune.

Dualismul corpuscular-ondulatoriu (dualismul undă-ţi arti culă)

— Reprezentare conform căreia orice microobiecte de materie (fotonii, electronii, protonii, atomii şi altele). Posedă atât proprietăţileparticulei cât şi pe cele ale undei. Mecanica cuantică înlătură această contradicţie. În funcţie de caracterul măsurătorii, se relevă fie unele, fie altele dintre proprietăţile obiectelor cuantice.

Ecuaţia lui Dirac – ecuaţie a mecanicii cuantice care descrie particulele cu spinul 1/2 z electronii, pozitronii, miuonii, quarcii, satisfăcând condiţiile teoriei relativităţii (P. Dirac, 1928).

Ecuaţia lui Schrödinger – ecuaţia fundamentală a mecanicii cuantice nerelativiste; permite determinarea stărilor posibile ale sistemului, precum şi modificarea acestuia în timp. (E. Schrödinger, 1926).

Ecuaţia Young-Mills – ecuaţie ce descrie dinamica câmpului gluonic.

Efectul fotoelectric extragerea, cu ajutorul luminii, a electronilor din atom sau a protonilor din nucleu (efectul fotonu clear).

Electrodinamica – descrie dinamica câmpului electromagnetic în interacţiune cu particulele încărcate.

Electrodinamica cuantică – teoria cuantică a câmpului electromagnetic şi a interacţiunii sale cu particulele încărcate. Descrie toate tipurile de interacţiune ’ale radiaţiei cu materia şi interacţiunea electromagnetică dintre particulele încărcate. Eter – mediu ipotetic, folosit în sec. XVII-XIX pentru explicarea legilor de propagare a luminii. Expansiunea Universului – conform teoriei cosmologice a lui

Einstein, Universul se dilata (soluţia lui Fridman, 1922). A ceastă predicţiune s-a confirmat prin observaţii astronomice: aglomerările de stele se află în recesiune (E. Hubble, 1923), ca rezultat al3 exploziei materiei supradense care a avut loc cu circa 20 de miliarde de ani în urmă. Confirmarea cea mai convingătoare a Vvenit după descoperirea radiaţiei

relicte. Experimentul lui Fizeau – măsurarea vitezei luminii într-un lichid aflat în mişcare (1851). Experienţa lui Michelson – a demonstrat independenţa vitezei luminii faţă de mişcarea Pământului (1881). Fluctuaţii – abateri întâmplătoare ale mărimilor fizice de la valorile lor medii, provocate de mişcarea termică sau de nedeterminarea cuantică. Formula lui de Broglie – fiecărei particule cu energia E şi cu impulsul o îi corespunde o undă („unda lui de Broglie”) cu lungimea X 27ch/p şi cu frecventa co E/h (L. De Broglie, 1923).

Foton – cuantă a câmpului electromagnetic, particulă elementară neutră cu masa nulă şi spinul 1; transportă interacţiunea electromagnetică între particulele încărcate. Funcţie de undă (funcţie psi) – mărime fundamentală a mecanicii cuantice, care descrie starea sistemului şi care permite să se găsească probabilităţile şi valorile medii ale mărimilor fizice.

Gaură neagră – obiect cosmic care ia naştere prin colapsul gravitaţional al stelelor masive. Radiaţia găurii negre este oprită de gravitaţie; astfel încât gaura neagră poate fi detectată numai prin gravitaţie sau prin radiaţia de frânare a gazului care cade din afară.

Gluodinamâca – teoria interacţiunilor câmpurilor gluonice între ele, în absenţa quarcilor. Este considerată ca o etapă în studierea cromodinamicii. Gluon – cuanta unuia dintre cele opt câmpuri gluonice, care, la fel că fotonul, are masa zero şi spinul 1.

Gradient (al unei mărimi oarecare) – vector care caracterizează modificarea mărimii respective la deplasarea într-o direcţie dată. Se defineşte ca diferenţa valorilor mărimii respective în două puncte vecine, alese în lungul direcţiei date, împărţită la distanţa dintre aceste puncte.

Gradul de libertate pionic – categorie de excitaţii ale nucleului cu numerele cuantice ale pionului.

Graficele (diagramele) lui Feynman – mijloc de a obţine relaţii între mărimi cu ajutorul desenelor ilustrând procesele studiate şi care se descifrează la sfârşitul lucrării (R. Feynman, 1949).

Gravitaţie – atracţia universală dintre toate corpurile. A tracţia gravitaţională este proporţională cu produsul dintre energiile totale ale particulelor în interacţiune (şi nu doar cu produsul maselor, întrucât fotonul, care are masa egală cu zero, este deviat de către câmpul gravitaţional al Soarelui). Groapă de potenţial – regiune din spaţiu în care energia potenţială este mai mică decât în afara ei.

Hadroni – particule (barioni şi mezoni) care interacţionează tare. Impuls – măsură a mişcării mecanice, egală în cazul punctului material cu produsul dintre masă şi viteză; mărime vectorială având aceeaşi direcţie ca viteza punctului material. Interacţiune din ’aproape în aproape – reprezentare conform căreia interacţiunea dintre corpurile aflate la distantă unul faţă de celălalt are loc cu ajutorul mediului, sau prin alte verigi intermediare, care transmit interacţiunea dintr-un punct în altul cu’ viteză finită. Interacţiune la distanţă – reprezentare’ după care acţiunea corpurilor unul asupra celuilalt se transmite la distanţă fără participarea mediului. Interacţiune electromagnetică – interacţiune a particulelor încărcate prin câmpuri electrice sau magnetice. La nivel cuantic, are loc prin schimb de fotoni virtuali. Determină forţele dintre nuclee şi electroni în atomi şi molecule; duce la emisia şi absorbţia undelor electromagnetice de către particulele încărcate.

Interacţiune slabă – una dintre interacţiunile fundamentale, la care iau parte toate particulele elementare; condiţionează majoritatea dezintegrărilor (slabe) ale particulelor elementare, interacţiunea neutrinului cu materia şi altele. În interacţiunea slabă se încalcă paritatea spaţială (simetria la reflexie) şi reversibilitatea timpului.

Interacţiune tare – cea mai puternică dintre interacţiunile fundamentale ale particulelor elementare, depăşind-o pe cea electromagnetică de circa 100 de ori. Are raza de acţiune de 10-13 cm. Interacţiunea tare are loc între hadroni.

Interferenţă – interacţiunea undelor care se deplasează pe drumuri diferite, dar provin de la o singură sursă. În locurile în care fazele oscilaţiilor coincid, are loc amplificarea acestora, iar în locurile în care fazele sunt opuse, are loc extincţia oscilaţiilor.

Invarianţa izotopică a interacţiunilor tari – independenţa interacţiunilor tari faţă de sarcina electrică a particulelor cu un spin izotopic dat. Invarianţă – proprietatea unor mărimi de a rămâne neschimbaté la modificarea condiţiilor fizice sau la anumite transformări, cum ar fi transformarea coordonatelor şi a timpului prin trecerea de la un sistem de referinţă la altul.

Invarianţa la etalonare – invarianţa fenomenelor electredinamice la modificarea potenţialului vector care conservă mărimea şi direcţia câmpurilor electric şi magnetic în fiecare punct. Aceasta este o simetrie locală care asigură, în particular, legea lui Coulomb. Izospinul (spinul izotopic) –

caracteristică internă a hadronilor care determină numărul n de particule având proprietăţi asemănătoare: n 211, unde I este izospinul. Izotropi a spaţiului – independenţa proprietăţilor spaţiului faţă de direcţie, împrăştiere (difuzie) – trecând prin materie, particulele suit împrăştiate de atomii sau nucleele mediului. Interacţiunea particulelor cu mediul este caracterizată de numărul de particule împrăştiate sub un unghi dat, împărţit la unitatea de flux al particulelor incidente. Ştiind numărul de atomi din unitatea de. Volum a substanţei, se poate calcula secţiunea unui atom sau nucleu corespunzătoare unghiului de împrăştiere dat.

Împrăştiere inelastică – proces de ciocnire în care se transmite energie, se modifică starea internă a particulelor, se formează noi particule. Legea lui Rayleigh – intensitatea luminii difuzate este invers proporţională cu puterea a patra a lungimii de undă a luminii, fapt datorită căruia razele albastre sunt mai puternic difuzate decât cele roşii, ce explică de ce este albastru cerul (1871).

Legi de conservare – anumite mărimi fizice nu se schimbă în timp în diverse procese. Legi de conservare: \a energiei, impulsului momentului cinetic, sarcinii electrice…

Leptoni – particule elementare cu spinul 1/2 care nu iau parte la interacţiunea tare. Există trei lepton încărcaţi 2 electronul, *er* miuonul, jjişi tritonul tşi trei leptoni neutri: neutrinul electronic ve, neutrinul miuonic, v şi neutrinul – tau,

Libertate asimptotică – proprietate a unor teorii a interacţiunilor tari care coţistă în faptul că forţele dintre particule scad la distanţe mici. Lungime de undă – distanţa dintre crestele undelor unui proces ondulatoriu. Lungimea Planck (P) – distanţa la care oscilaţiile cuantice de zero ale câmpului gravitaţional distorsionează complet geometria euclidiană (P 2-10-33 cm).

Marea unificare – încercarea de a explica, în mod unificat interacţiunile electromagnetice, slabe şi tari.

Mărimi adimensionale – mărimi care nu depind de alegerea sistemului de unităţi de măsură. Astfel, valorile numerice ale lungimii unei’ mese depind de modul de alegere al unităţii de lungime, dar raportul dintre lungimea şi lăţimea mesei este o mărime adimensională. Mărimi tensoriale – mărimi care, la rotaţii, se transformă ca produsele de vectori. Mecanica cuantică (mecanica ondulatorie) – teorie care descrie legile împrăştierii şi mişcării

microparticulelor în câmpuri exterioare. Trăsăturile ei distinctive sunt caracterul probabilist al predicţiunii rezultatelor unor măsurători şi caracterul discret al valorilor posibile ale mărimilor fizice cum ar fi energiile electronului în atom, momentul cinetic şi proiecţia lui pe o direcţie oarecare... Mecanica cuantică a permis să se înţeleagă pentru prima oară structura atomilor şi spectrele lor, natura legăturii chimice, să se explice sistemul periodic al elementelor, a permis să se înţeleagă supraconductibilitatea, suprafluiditatea... Stă la baza teoriei nucleului atomic. Mecanica ondulatorie – vezi mecanica cuantică. Mezoni – hadroni cu spinul întreg, fără sarcină barionică (mezoni p, mezoni K, mezoni *k* şi alţii) constituiţi dintr-un quark şi un antiquark. Mezonii K (kaonii) – particule având stranietate, cu spinul zero şi cu masa de circa 970 de ori mai mare decât masa electronului. Există doi mezoni K încărcaţi şi doi mezoni K neutri. Mezonii pi (pionii) – hadroni pozitivi, negativi şi neutri cu spin zero şi stranietate zero, cu masa de circa 270 de ori mai mare decât masa electronului.

Neutrino – particulă stabilă neutră cu spinul 1/2, cu masa nulă sau aproape nulă, lepton; ia parte numai la interacţiunile slabe şi gravitaţionale. Există trei tipuri de neutrino (vezi „leptoni”).

Nucléon – denumirea comună pentru neutron „şi proton. Numere cuantice – numere care caracterizează starea sau proprietăţile interne ale particulelor – momentul, sarcina, energia...

Oscilaţii de zero – oscilaţii ale coordonatei şi vitezei oscilatorului în starea fundamentală, oscilaţii în vid ale câmpurilor care descriu particule (generarea şi anihilarea particulelor virtuale).

Oscilator – sistem care oscilează în jurul poziţiei de echilibru.

Parametru de ordine – mărime care caracterizează modificarea simetriei materiei înainte şi după tranziţia de fază. Paritate – număr cuantic care caracterizează simetria funcţiei de undă a unui sistem fizic, sau a unei particule elementare la reflexie; dacă la o astfel de transformare funcţia de undă nu-şi schimbă semnul, paritatea este pozitivă; dacă şi-l schimbă – paritatea este negativă

Particula alfa – nucleul atomului de heliu, format din doi protoni şi doi neutroni. Particule stranii – particule elementare cu stranietatea diferită de zero (de exemplu, barionul S, mezonul K etc.). Particule virtuale – particule

care în conformitate cu teoria cuantică a câmpului apar pentru un timp scurt. Interacţiunea dintre particule se produce ca rezultat al schimbului de diferite particule virtuale. Perioada oscilaţiilor – cel mai mic interval de timp după care sistemul se reîntoarce în starea iniţială.

Postulatele lui Bohr – ipotezele de bază din teoria atomului a lui Niels Bohr (1913). Ele stabilesc regulile de determinare a stărilor staţionare ale atomului, corespunzătoare unor valori fixate ale energiei interne. Frecvenţele radiaţiei sunt legate de diferenţa energiilor stărilor staţionare prin relaţia conm (En-Em)/h.

Potenţialul vector – mărime auxiliară ai cărei gradienti determină câmpurile electrice şi magnetice în fiecare punct spaţio-temporal.

Principiul cauzalităţii – principiu conform căruia cauza precede efectul.

Principiul complementarităţii

— Necesitatea descrierii proprietăţilor obiectelor cuantice în limbajul clasic al aparatelor de măsură duce la multe paradoxuri. Conform principiului complementarităţii, formulat de Niels Bohr (1927), soluţionarea acestor paradoxuri constă în complementaritatea descrierii clasice şi cuantice a proprietăţilor microobiectelor. În funcţie de condiţiile de măsurare, electronul se comportă fie ca undă, fie ca particulă. Determinarea traiectoriei particulei îi maschează proprietăţile ondulatorii. Experimentul care relevă interferenţa lasă nedeterminată traiectoria. Descrierea clasică şi proprietăţile cuantice sunt complementare.

Principiul corespondenţei – principiul conform căruia teoria trebuie să treacă în teoria anterioară, mai puţin generală, în acele condiţii în care a fost stabilită teoria anterioară. Principiul incertitudinii – principiu fundamental al teoriei cuantice, conform căruia anumite mărimi (complementare) cum ar fi coordonata. Şi impulsul nu pot avea simultan valori determinate. Pentru coordonata o şi pentru impulsul p, produsul nedeterminărilor este mai mare sau egal e i 2? th (Heisenberg, 1927). Principiul lui Pauli (de ecluziune) – două sau mai multe particule identice cu spin semiîntreg nu se pot afla simultan în aceeaşi stare (W. Pauli, 1925). Principiul observabilităţii – principiul conform căruia în ştiinţa nu trebuie introduse mărimi principial neobservabile. Pulsar – sursă cosmică de impulsuri periodice (pulsaţii) de radiaţie electromagnetică. Este identificată cu steaua neutronică rotitoare având perioada pulsaţiilor.

Quarci – particule din care sunt compuşi hadronii. Spinul quarcilor este 1/2, sarcina electrică 2/3 sau 1/3, iar cea barionică 1/3. Mezonii sunt compuşi dintr-un quark şi un antiquark, iar barionii, din trei quarci. Se presupune că există şase tipuri – arome de quarci şi de antiquarci. Fiecare dintre aceste particule se poate găsi într-una dintre cele trei stări de culoare. Radiaţia corpului negru – radiaţia de echilibru din interiorul unei cutii cu pereţii încinşi. Radiaţie relictă – radiaţie electromagnetică rămasă de pe timpul când Universul era supradens, răcită între timp, datorită expansiunii Universului. Rezonanţe – hadroni care se pot dezintegra pe seama interacţiunii tari, din care cauză trăiesc foarte puţin 10-22 – 10-2ls. Sarcină barionică (număr barioni e) – una dintre caracteristicile interne ale barionilor. Toţi barionii au sarcina barionică 1, toţi antibarionii, 1, iar restul particulelor, sarcina barionică zero.

Sarcină leptonică dacă li se asociază leptonilor un număr cuantic oarecare, cum ar fi sarcina leptonică egală cu fp iar antileptonilor sarcina leptonică – 1, atunci sarcina leptonică astfel definită se conservă în toate procesele cunoscute. Scalar – mărime care nu se schimbă la rotaţiile sistemelor de coordonate.

Secţiune de împrăştiere – numărul de particule împrăştiate *în* unitatea de timp, împărţit la densitatea fluxului de particule incidente pe. Ţintă. Secţiunea de împrăştiere caracterizează suprafaţa umbrită de particule care produce împrăştierea. Simetrie – invarianţa obiectelor fizice la antimite transformări, de exemplu la translaţiile şi rotaţiile sistemului de coordonate.

Simetria combinată de sarcină şi la reflexie – invarianţa legilor naturii simultan faţă de reflexie şi schimbarea semnului sarcinilor.

Simetrii globale – simetrii cărora le corespund operaţii independente de punctele din spaţiu, de exemplu, atunci când în tot spaţiul are loc aceeaşi translaţie sau rotaţie. Simetrii interne – simetrii care caracterizează proprietăţile câmpurilor, ale particulelor sau fenomenelor, nelegate, de transformarea coordonatelor spaţiale, aşa cum ar fi de pildă simetria izotopică.

Simetrie locală – invarianţa legilor naturii faţă de translaţii, rotaţii sau alte transformări (vezi invarianţa la etalonare) diferite în diverse puncte spaţio-temporale.

Simetria la reflexie – invarianţa aproximativă a majorităţii legilor naturii

faţă de reflexia în oglindă. O încălcare flagrantă a acestei simetrii are loc numai în tranziţiile provocate de interacţiunile slabe, în cazul reacţiilor chimice, când apar molecule asimetrice una faţă de alta la oglindire, aşa cum sunt între ele mâna stângă şi cea dreaptă, numărul de molecule drepte este egal cu numărul de molecule stîngi. Simetria spaţio-temporală – invarianţa fenomenelor naturii faţă de translaţii, rotaţii şi reflexii în spaţiul-ţimp evadridimensional.

Spin – momentul cinetic propriu al particulei, nelegat de mişcarea particulei ca întreg; se măsoară în unităţi ale constantei lui Planck, h, şi poate fi întreg sau semiîntreg. Spinor – mărime care se schimbă după o lege determinată la rotaţia sistemului de coordonate. Din mărimile spi nori al e se poate alcătui o expresie pătratică invariabilă la rotaţii (un scalar), ca şi o mărime care s6” schimbă la rotaţii ca un vector.

Spiralitate – proiecţia spinului pe direcţia mişcării. Dacă spinul este îndreptat în sens contrar mişcării particulei, spiralitatea este negativă („stângă”), dacă este îndreptată în sensul mişcării, atunci este pozitivă („dreaptă”). Electronul poate avea diverse valori ale spiralităţii, în funcţie de condiţiile experimentului. Particulele cu masa nulă au spiralităţea determinată: astfel, neutrinul are spiralitatea negativă; neutrinul este o particulă „stângă”, în timp ce antineutrinul este o particulă „dreaptă”. Stare legată – de exemplu* particulele aflate în groapa de potenţial. Stare cu energia mai mică decât energia unei particule aflată în repaus în afara gropii. Energia care trebuie comunicată particulei pentru a o elibera din groapă se numeşte energie de legătură. Stare staţionară – o stare stabilă a sistemului cuantic, în care toate mărimile fizice care caracterizează sistemul nu depind de timp.

Starea fundamentală a sistemului cuantic – starea cu energie minimă. Stea neutronică – stea a cărei parte centrală este compusă din neutroni (vezi „pulsar”). Stranietate – număr cuantic întreg (în speţă zero, pozitiv sau negativ), caracterizând hadronii. Stranietatea particulelor şi antiparticulelor nu se conservă în interacţiunile slabe. Supernove – stele care explodează brusc emanând o energie colosală. În decurs de câteva luni, supernovele radiază tot atât a energie cât întreaga Galaxie. Unul dintre mecanismele de formare a supernovei este următorul: în urma comprimării gravitaţionale, partea centrală a stelei se transformă într-o stea neutronică, iar materia

straturilor exterioare este expulzată cu o viteză de mii de kilometri pe secundă. Supraconductibilité – apare la unele metale (supraconductoare) la răcirea lor sub temperatura critică şi constă în anularea rezistenţei electrice şi în împingerea în afală a câmpului magnetic al probei. Descoperită de H. Kammerling Onnes (1911).

Supraflui ditate – proprietate a fluidului cuantic de a curge fără frecare internă prin orificii înguste, capilare etc. Este legată de trecerea unei părţi din atomii fluidului în starea cu impuls zero. Descoperită de P.L. Rapita la heliul lichid (1937).

Tranziţie de fază – trecerea materiei dintr-o stare într-alta, deosebită prin caracterul simetriei (prin parametrul de ordine). De exemplu, trecerea lichid-cristal.

Vector – segment de lungime şi direcţie determinate. Forţa, viteza, câmpul electric sunt reprezentate prin vectori. Vector de undă – vectorul orientat paralel cu viteza undei, având mărimea k2-rc/A, unde» este lungimea de undă. Vidul – spaţiul fizic gol. În teoria cuantică a câmpului, vidui este starea energetică cea mai joasă a câmpului cuantic. Numărul mediu de particule din vid este egal cu zero, dar în acesta au loc generarea şi anihilarea particulelor virtuale care influenţează procesele fizice.

Cuprins

Prefaţă de Gheorghe Stratan

METODA ŞTIINŢIFICĂ DE CUNOAŞTERE

De la intuiţie la adevăr

„Cum să te înţeleagă celălalt?”
„Ştiinţa este adevărul înmulţit cu îndoiala”
„Aş vrea să cred, dar n-am temeiuri”
Cum se nasc legendele

„… Necazu-i când s-o apuca de copt colaci nepriceputul”…
Putem deosebi ptievărul de minciună?
„Îndoiala îmi oferă tot atâta desfătare cât cunoaşterea”… „Ca să nu

încâlci, să nu zdruncini, să nu distrugi, ci să consiruieşti…”

„Civililor le place să emită judecăţi în probleme militare…”…

În codru, pe când tot păşeam înainte

Cum se edifică teoriile

Alegerea direcţiei

Instrumentele cunoaşterii

Ce-a fost mai întâi, oul sau găina?

Să nu violentăm natura, ci s-o întrebăm

„Numai deplinul naşte claritatea, dar adevărul se ascunde în întuneric”

Erorile

„Neştiinţa nu-i o dovadă, ignoranţa nu-i un argument”…

— Nu prea e de crezut să fie şoareci pe spinarea calului… „Atârnaţi de undiţă cârlig-minciuna, şi-nfigeţi adevărul drept momeală…”

DESPRE PSIHOLOGIA CREAŢIEI ŞTIINŢIFICE

Atracţia către creaţia ştiinţifică

Curiozitatea, exprimarea, afirmarea

Capacitatea de a te uimi şi paradoxurile ştiinţifice

Simţul frumosului

Recifele

Este mai important cum gândeşti decât ce gândeşti

Simptomele „marii descoperiri”

Superstiţii şi legende

Trebuie înţeles dinainte?...
„Slujirea muzelor nu-ngăduie deşertăciunea... /'
Câţi îngeri încap pe un vârf de ac?
Geniilor – respectul cuvenit 1

„Văd barba, dar nu-l văd pe filosof"
Secretele meseriei

Lacrimile ascunse

Fantezia bine temperată

Stilul activităţii ştiinţifice

Lucrări „certe" şi „incerte"
Stilul la sfârşitul secolului al XX-lea

Rolul maşinilor de calcul.
Bunul simţ

„Nu dau sfaturi, -totuşi, voi spune că..."
Câteodată greşeala se vede dintr-o dată

Analiza logică

DESPRE FRUMUSEŢEA ŞTIÂNŢEI

În căutarea frumuseţii

Algebra şi armonia

Frumuseţea construcţiilor logice

Frumuseţea ascunsă

Simetria

Natura nu suportă simetriile exacte

A cuprinde necuprinsul

Spaţiul este simetric?
Legile de conservare decurg din simetria spaţiului şi timpului

De ce inima se află în stînga?
Încălcarea simetriei la reflexie în interacţiunile slabe

Simetria la sarcină şi la reflexie. Antilumile

Simetria internă

Invarianţa de etalonare

Indiscernabilitatea particulelor identice

Simetria izotopică

Stranietatea istoria unei simetrii – începutul Istoriei – Quarcii – Trebuie să colorăm quarcii! — Quarcii nu pot trăi unul fără altul

Câmpul care lipeşte quarcii

Comoara uitată

CUM LUCREAZĂ FIZICIENII

Sarcinile fizicii

Experimentatorii şi teoreticienii

Fizica şi matematica

Căile de dezvoltare – Cum a fost creată mecanica cuantică?
Începutul erei cuantice

Undă sau particulă?
Postulatele lui, Niels Bohr

Intuiţia lui de Broglie

Mecanica cuantică

Coordonata sau viteza?
Semnificaţia fizică a funcţiei de undă

Este oare încălcată cauzalitatea?
Se poate modifica starea unei particule fără a o atinge 1… „Se poate îndrepta, dar va fi mai rău… /'
Calcule fără calcule – Estimări dimensionale

Oscilatorul generalizat

Cum să intuieşti soluţia?
Corecţiile la electro dinamica în câmp intens

Teoria cuantică a particulelor şi câmpurilor

Cuantificarea atomului

Cuantificarea rotaţiei

Oscilatorul cuantic

Cuantificarea câmpului

VIDUL, NUCLEELE, STELELE

Cum este alcătuit vidul? — Se poate împinge un corp fără a-l atinge?
Proprietăţile electromagnetice ale vidului

Eterul a murit, trăiască eterul!
Mecanica cuantică, a câmpurilor din vid

Jerbe de particule „.
Licărirea geometriei

Instabilitatea vidului şi stările neobişnuite ale materiei nucleare – Tranziţiile de fază

Tranziţiile de fază ale vidului

Condensarea pionică

Instabilitatea materiei nucleare la densitate mare

Gradul de libertate pionic

Posibilitatea existenţei nucleelor supradense şi neutronice

Căile posibile pentru descoperirea nucleelor anomale…
Soarta stelelor neutronice…
Mai strălucitor decât o siită de miliarde de sori

Fluidul neutronic

Descoperirea pulsarilor

Pulsarii sunt stele neutronice

Condensarea pionică şi fluidul neutronic

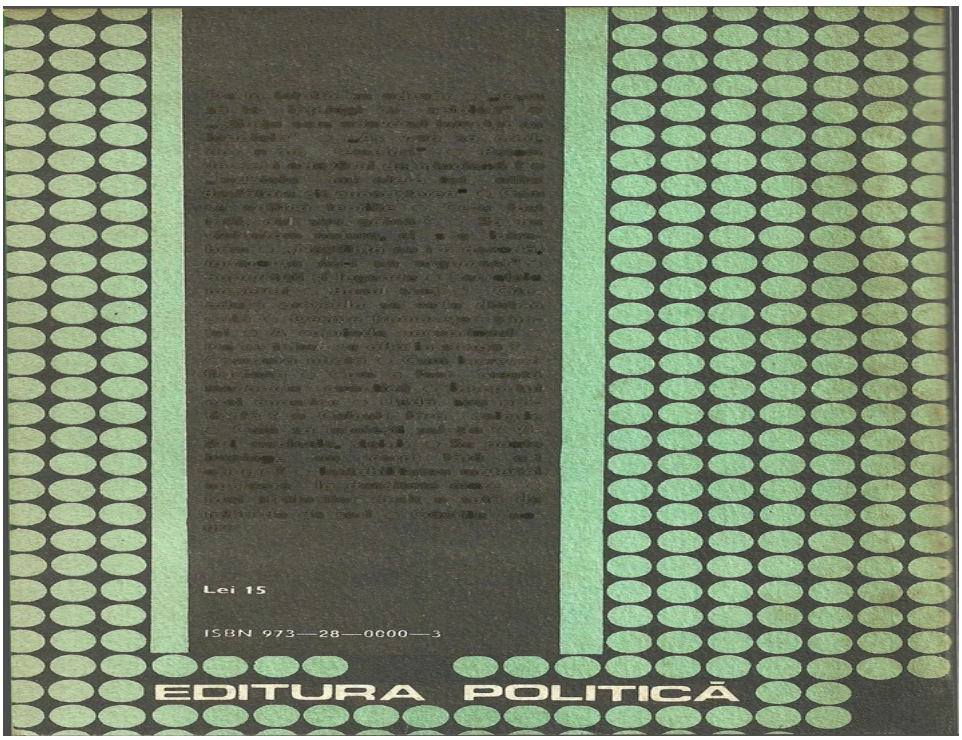
Găurile negre

Stele alcătuite din quarci

Indice terminologic

Bun de tipar 30 noiembrie 1988. Apărut – ianuarie 1989

De la intuiţie ia adevăr e „Cum să te înţelegi cu celălalt” „Ştiinţa este adevărul înmulţit cu îndoiala” e „Aş vrea să cred, dar n-am temeiuri” e Putem deosebi adevărul de minciună? e „îndoiala îmi oferă tot atâta desfătare cât cunoaşterea” Cum se edifică teoriile Ce-a fost întâi, oul sau găina? Să nu violentăm natura, ci s-o întrebăm „Neştiinţa nu-i o dovadă, ignoranţa nu-i un argument” Superstiţii şi legende Secretele meseriei Bunul simţ Câtèodată greşeala se vede dintr-o dată Despre frumuseţea ştiinţei s A cuprinde necuprinsul De ce inima se află în stinga? Comoara uitată Cum lucrează fizicienii * Cum a fost creată mecanica cuantică începutul erei cuantice Undă sau particulă? Calcule fără calcule Cum să intuieşti soluţia? Vidul, nucleele, stelele Se poate împinge un corp fără a-l atinge? Instabilitatea materiei nucleare la densitate mare Mai strălucitor decât o sută de



miliarde de sori Găurile negre

5 B.V. Deryagin, N.V. Churaev, *Nature of Anomalous Water*,